

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208R088 Podniková ekonomika a management
provozu

Aplikace modelů hromadné obsluhy v podmínkách velkého podniku s využitím počítačové simulace

Diplomová práce

Bc. Patrick SCHÖBEL

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Bc. Patrick Schöbel**

Studijní program: Ekonomika a management

Obor: Podniková ekonomika a management provozu

Název tématu: **Aplikace modelů hromadné obsluhy v podmínkách velkého výrobního podniku s využitím počítačové simulace**

Cíl: Cílem práce je vytvoření simulačního prostředí pro výrobní tok s rozdílným směnným režimem v jednotlivých provozech a identifikaci úzkých míst a návrhu efektivního řešení, vyhodnocení realizovatelnosti výrobních programů a vyššího využití kapacit jednotlivých provozů. Pro vytvoření virtuálního modelu a následné provedení experimentů bude použit simulační program Plant Simulation.

Rámcový obsah:

1. Teorie výrobního toku a logistických procesů. Význam a přínosy počítačové simulace.
2. Popis a analýza vstupního stavu výrobního provozu.
3. Sestavení pojmového modelu a jeho transformace do simulačního modelu v prostředí Plant Simulation. Nastavení parametrů na základě provedené analýzy dat. Identifikace úzkých míst.
4. Realizace počítačových experimentů, vyhodnocení výsledků, návrh směnných režimů. Logistický, výrobní a ekonomický dopad navrhovaných změn.
5. Návrh opatření na základě výsledků experimentů a analýza návratnosti investic definovaných změn.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. BANGSOW, S. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and SimTalk: usage and programming with examples and solutions*. Berlin: Springer, 297 s. ISBN 978-3-662-51912-7.
2. MAXTON, G P. – WORMALD, J. *Time for a Model Change.: Re-engineering th Global Automotive Industry*. 1. vyd. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004. 276 s. ISBN 0-521-83715-4.
3. JAMMERNEGG, W. – KUMMER, S. – GRUEN, O. *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik*. Německo: Pearson Studium, 2018. 496 s. ISBN 978-3-8689-4094-7.
4. BANGSOW, S. *Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples*. Švýcarsko: Springer, 2015. 713 s. ISBN 978-3-3191-9502-5.
5. SCHNEIDER, M. *Lean Factory Design: Gestaltungsprinzipien für die perfekte Produktion und Logistik*. Německo: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016. 304 s. ISBN 978-3-4464-4995-4.

Datum zadání diplomové práce: červen 2019

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2020

L. S.


doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Vedoucí práce


doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Garant studijního oboru


Mgr. Petr Šulc
Prorektor ŠAVŠ


Bc. Patrick Schöbel
Autor práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji doc. Ing. Janu Fábrymu, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Děkuji Ing. et Ing. Janu Michalovi, Ing. Martinu Koškovi a Bc. Lukáši Grusovi a celému oddělení Řízení programu za poskytnutí podpory při studiu a za sdílení znalostí a zkušeností v rámci řízení výroby vozů. Děkuji hlavně i své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

Obsah

Úvod	7
1 Teorie výrobního procesu	8
1.1 Typy výroby	9
1.2 Uspořádání výrobních pracovišť	10
1.3 Plánování a řízení výroby	12
1.4 Princip tlaku a tahu	15
1.5 Výrobní kapacita	16
1.6 Plánování a řízení výrobní kapacity	17
1.7 Ideální výrobní tok	20
2 Model hromadné obsluhy	21
2.1 Varianty uspořádání obslužných linek	23
2.2 Režimy fronty	26
3 Počítačová simulace	27
3.1 Metoda Monte Carlo	28
3.2 Microsoft Excel	28
3.3 Witness	29
3.4 Simul8	29
3.5 SimProcess	30
3.6 Tecnomatix Plant Simulation	30
4 Modelování komplexního výrobního provozu	32
4.1 Analýza vstupních dat	32
4.2 Analýza úzkého místa	39
4.3 Simulační model provozu	40
4.4 Vyhodnocení dle vstupních dat	58
4.5 Simulace s kooperací s jinou společností	62
4.6 Simulace se změnou fondu pracovní doby	65
4.7 Simulace se změnou fondu pracovní doby a kooperací	68
5 Logistický, výrobní a ekonomický dopad navrhovaných změn	73
Závěr	76
Seznam literatury	77
Seznam obrázků a tabulek	79
Seznam příloh	82

Seznam použitých zkratk a symbolů

ŠAVŠ	ŠKODA AUTO Vysoká škola
JIS	Just in Sequence
JIT	Just in Time
CNC	Computer Numerical Control (číslicově řízené počítačem)
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování)
HW	Hardware
SW	Software
CPU	Central Processing Unit (centrální procesorová jednotka)
GPU	Graphics Processing Unit (grafická procesorová jednotka)
RAM	Random Access Memory (operační paměť)
HDD	Hard Disk Drive (jednotka pevného disku)
SSD	Solid State Drive (jednotka SSD)
GB	Gigabyte
TB	Terabyte
GHz	Gigahertz
px	Pixel
VBA	Visual Basic for Applications
XLM	Excel Macrosheet
API	Application Programming Interface
HO	Hromadná obsluha
FIFO	First-In, First-Out
LIFO	Last-In, First-Out
PRI	Priority system
SIRO	Selection in random order
MU	Mobile unit (mobilní jednotka)

Úvod

V dnešní době je cílem každé společnosti postavit výrobní podnik za optimální náklady, s možností tento podnik rozšiřovat k pokrytí poptávky trhu. Při projektování lze snadno přehlédnout dílčí činnosti, které jsou pro správný chod nezbytně nutné, a proto je vhodné si předem požadovaný výrobní podnik v co největším detailu virtuálně sestavit. Než reálně začne výstavba, lze při simulaci procesu snadno identifikovat úzká místa již v předvývojových částech projektu. Tímto je možné ušetřit velkou finanční část společnosti za pomoci běžných technologií, jako jsou např. běžné kancelářské počítače. Výhodou je simulování ve zrychleném časovém období, kde je možné identifikovat šance, rizika a hrozby ve velmi dlouhém časovém horizontu.

Cílem diplomové práce je sestavit model komplexního výrobního provozu a ověřit vyrobiteľnost jednotlivých výrobků dle definovaných objemů a možností výroby na jednotlivých pracovištích. Sestavený model bude sloužit jako simulační nástroj pro komplexní řešení výrobních a logistických procesů, ze kterého se bude vyhodnocovat efektivita navržených výrobních scénářů.

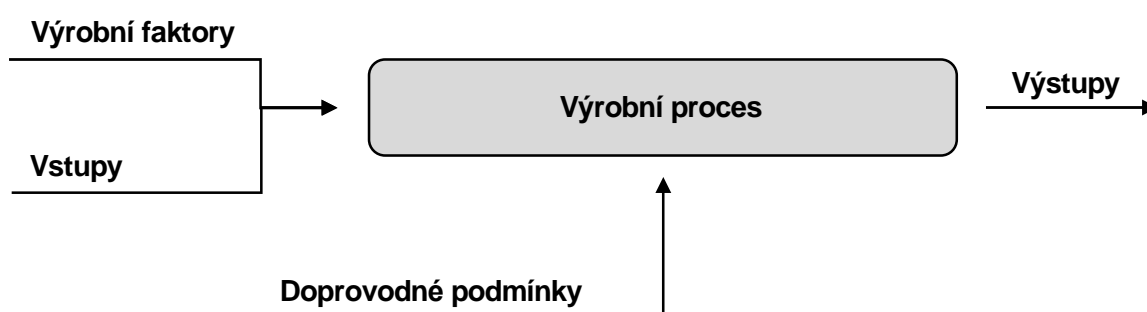
Hlavním důvodem výběru tématu je sestavení vlastního komplexního výrobního podniku, kooperujícího mezi více regiony a státy. Vzájemná kooperace slouží k dosažení vyššího vytížení provozů a k stálému dodržení roční zákaznické poptávky po výrobcích. Dalším důvodem je detailnější seznámení se simulačním programem Tecnomatix Plant Simulation a programovacím jazykem SimTalk od společnosti Siemens.

V první řadě je důležité se seznámit s teorií výrobních procesů a možností uspořádání pracovišť, včetně plánování výrobních a skladovacích kapacit. Každé pracoviště představuje obslužnou linku, která zpracovává požadavky v předem definovaném pořadí (např. FIFO nebo LIFO). Po získání teoretických znalostí lze tyto uplatnit při tvorbě virtuálního výrobního podniku a pomocí simulačních nástrojů ověřit vhodnost rozmístění pracovišť, vhodnost navržených výrobních a skladovacích kapacit a tento model dle výsledků optimalizovat.

1 Teorie výrobního procesu

Výrobní proces doprovází výrobek od samotného počátku až do konce celého toku. Během průchodu výrobku výrobním procesem dochází k přeměně vedlejších vstupů na výstupy, kde je výsledkem výrobek (hmotný) nebo služba (nehmotná). V případě výroby automobilů dochází k dodání vylisků ze svařovny pro stavbu karosérie, následné dodání karosérie do lakovny, kde se postupně nanášejí ochranné vrstvy proti korozi, barva karosérie a ochranná vrstva laku. Po olakování vstupuje karosérie na montážní linku, kde je nejvíce vedlejších vstupů, jako jsou montážní díly a díly dodávané ve formě JIS/JIT přímo do sekvence. Během montáže na lince dochází k upevnění všech jednotlivých komponentů, jako je např. kokpit, nápravy, motor s převodovkou, sedačky, vnější osvětlení a další komponenty. Výroba je považována za základní ekonomickou činnost člověka, během které se přetváří jednotlivé vstupy na výstupy. Výrobky takto získávají rozměr, funkci, smysl a vlastní hodnotu na trhu.

Výrobní proces zajišťuje transformaci vstupů na výstupy s ohledem na doprovodné podmínky a výrobní faktory (viz Obr. 1). Za vstupy považujeme suroviny, materiál, komponenty, polotovary, software, lidský potenciál a know-how. Získaný výstup může být hmotný, jako jsou strojírenské výrobky, hutní materiál, potraviny, spotřební zboží a těžební činnost. Za nehmotný výstup považujeme služby, jako je montáž, údržba, softwarový vývoj a školení (Staš, 2017).



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 15

Obr. 1 Schéma výrobního procesu

Do výrobního procesu vstupují rovněž i výrobní faktory a dělí se na čtyři typy. Prvním faktorem jsou přírodní zdroje. Využívají se v zemědělství a zahrnují přírodniny k produkci materiálů a energií. Druhým faktorem je práce, která zajišťuje

výrobu a přeměnu vstupů na výstupy. Jedná se zejména o lidskou činnost. Třetí faktor je kapitál, který zahrnuje výrobní prostředky, finanční kapitál a kapitálové statky. Čtvrtý faktor je technologie, která nemá podobu hmotných statků. Jedná se o technologické znalosti a zkušenosti, nápady, inovace, patenty a know-how.

Doprovodné podmínky vyjadřují různé informace, které vstupují do výroby. Podle Heřmana (2001) se jedná o organizační podmínky, znalostní podmínky, logistiku, legislativu, technický vývoj, vývoj softwaru a i samotné řízení výroby, kterým jsou materiállové, technické a personální restriktce.

1.1 Typy výroby

Výroba se člení podle vyrobených objemů a počtu druhů výrobků v jednotlivých výrobních provozech. Dělí se na 3 typy výroby, a to na kusovou, sériovou a hromadnou výrobu.

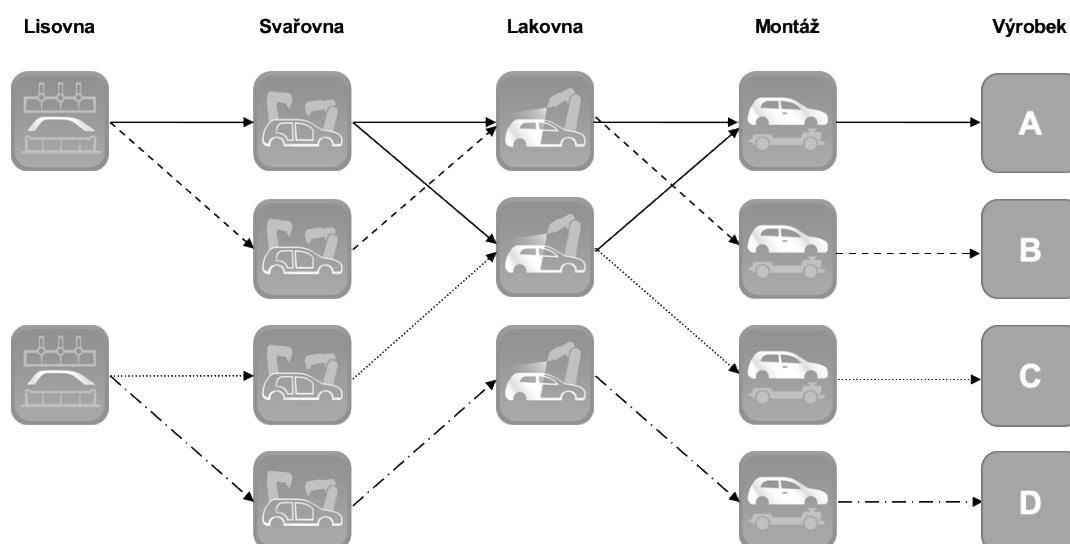
Kusová výroba slouží k výrobě různých výrobků v malých objemech. Jejich výroba se opakuje nepravidelně nebo jen jednou za životní cyklus projektu (Heřman, 2001). Výroba probíhá hlavně v jednotlivých zakázkách, které do ní vstupují. Změna požadavků si vyžaduje velkou univerzálnost strojů a vysokou kvalifikaci seřizovačů a pracovníků, kteří stroje přenastaví a připraví pro další výrobu odlišných výrobků. Kusovou výrobou se vyrábějí hlavně velmi komplexní výrobky. V případě zvýšení počtu výrobků jednoho druhu a zvýšení opakovanosti výrobku se kusová výroba mění na sériovou výrobu.

Sériová výroba je upřednostňována při výrobě velkého množství stejného druhu výrobků s určitou pravidelností. Je vhodná pro méně komplexní výrobky, které lze např. využít při seřizování CNC strojů s uloženým výrobním programem. Opakovanost výroby umožňuje zvyšování efektivity a produktivity pracovišť v rámci optimalizace programů a pracovních postupů.

Posledním typem je hromadná výroba, pro kterou je typické jeden nebo několik málo druhů výrobků s vysokým množstvím vyrobených kusů. Podle Jablonského (2007) se vyznačuje vysokou mírou opakovanosti a dlouhou ustáleností výroby stejných výrobků. Jedna z výhod je využití jednoúčelových strojů o velmi vysoké výkonnosti a vysokou specializací pracovišť. Po pracovnících v hromadné výrobě se nevyžaduje vyšší kvalifikace jako u pracovníků v kusové výrobě.

1.2 Uspořádání výrobních pracovišť

Výrobní pracoviště a celé výrobní provozy lze uspořádat několika způsoby dle možností během výstavby nového pracoviště nebo celého provozu. Na uspořádání pracoviště závisí i produktivita a efektivita práce, eliminace víceprací a úspora nákladů při zavedení a udržení v provozu. Výrobní pracoviště rozlišujeme na individuální a skupinové uspořádání. Individuální se uplatní zejména tam, kde není vhodné seskupovat zařízení a pracoviště do skupin. Je charakteristické pro kusovou výrobu a laboratoře, kde jsou zařízení instalována dle zvyklostí nebo možností pracoviště. Skupinové uspořádání je takové, kde jsou jednotlivá pracoviště a zařízení v nich seskupena podle výrobních postupů a technologií výroby. Uskupení dělíme na čtyři typy prostorového uspořádání (Staš, 2017).



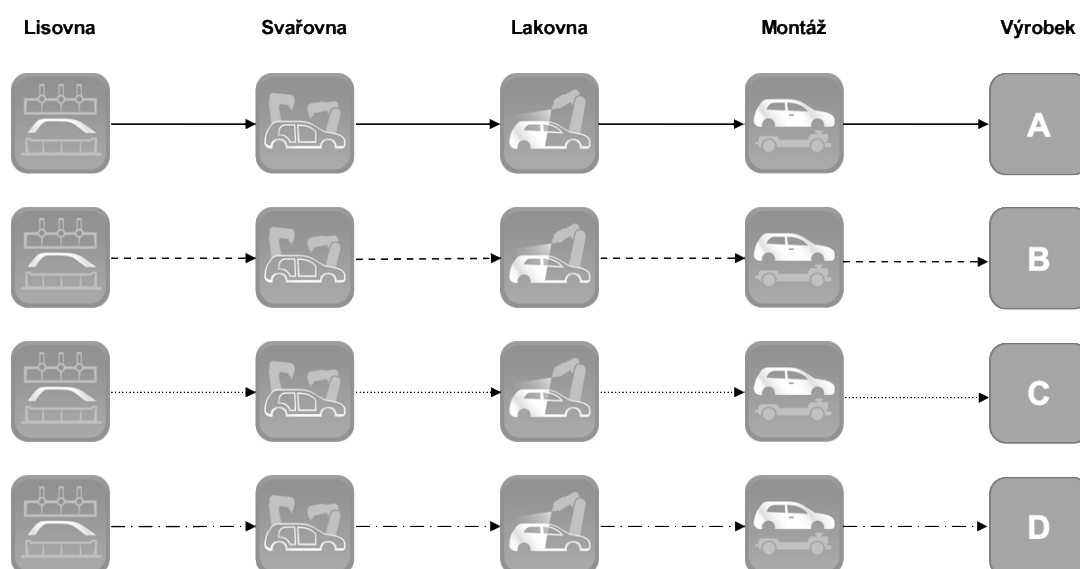
Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 37

Obr. 2 Schéma procesního uspořádání pracovišť

Procesní uspořádání pracovišť (viz Obr. 2) je uspořádání dle technologické příbuznosti s cílem využít jeden stroj k výrobě více rozdílných výrobků. Hlavní výhodou je vyšší využití výrobních kapacit a vytížení strojů. Další výhodou je vyšší odolnost proti prostojům a poruchám, jelikož lze využít i jiné výrobní zařízení během doby opravy standardně používaného stroje. Mezi nevýhody patří vyšší náročnost na operativní řízení výroby, náročnost na vytěžování jednotlivých pracovišť na maximální využití kapacit, delší manipulace s materiálem mezi jednotlivými pracovišti, nutnost udržovat vyšší skladové zásoby v rozpracovanosti mezi jednotlivými pracovišti a vysoké náklady při pořizování výrobních zařízení

k zajištění univerzality stroje, který lze přenastavit podle vstupních požadavků. V případě poklesu poptávky po jednom modelu, lze zaručit vyřízení provozu jinými výrobky do maximálních kapacit úzkých míst ve výrobním toku.

Podle Staše (2017) se výrobní uspořádání pracovišť, které je znázorněné na obrázku č. 3, zaměřuje především na výrobu jednotlivých výrobků ve vlastním výrobním toku, bez možnosti přesunu výroby mezi jednotlivými pracovišti. Každý výrobek má takto definované pracoviště, na kterém bude probíhat samotná dílčí výroba. V případě poklesu zájmu o jeden výrobek, dochází k nevytížení pracovišť v celém výrobním toku daného modelu. Uspořádání pracovišť je v souladu s technologickým postupem jednotlivých výrobků a dílčích součástí. Veškeré operace jsou prováděny postupně v průběhu výrobního toku, v ideálním případě bez prostojů. Pracoviště mohou být seřazena za sebou s menší náročností na transportní techniku v porovnání s procesním uspořádáním pracovišť. Hlavní výhodou je snazší a přehlednější operativní řízení výroby, jednoduchost automatizace procesů, nízké náklady na stroje a zařízení, které vykonávají vždy pouze jednu zadanou výrobní operaci, zkrácení dopravních vzdáleností a významná redukce rozpracovanosti mezi jednotlivými pracovišti. Nevýhodou tohoto řešení je vysoká citlivost na prostoje. V případě nízkých zásob v rozpracovanosti dochází k prostojům v celém výrobním toku daného výrobku.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 38

Obr. 3 Schéma výrobního uspořádání pracovišť

Mobilní uspořádání pracovišť se používá v místech, kde není možné vybudovat výrobní provoz. Jedná se hlavně o stavby velkých ocelových konstrukcí, mostů, větrných elektráren apod. Touto variantou se dováží výrobní provoz přímo na místo, kde má konečný výrobek být umístěn.

V poslední řadě se lze setkat s pružným výrobním systémem. V těchto systémech jsou pracoviště uspořádána do buněk, hnízd a do kruhu. Každá buňka obsahuje jeden nebo více strojů, na kterých probíhají jednotlivé operace (Heřman, 2001). Systémy jsou počítačem řízené stroje a přeprava a manipulace polotovarů probíhá automaticky pomocí robotických manipulátorů.

1.3 Plánování a řízení výroby

Při plánování výroby je důležité se zaměřit na základní pravidla plánování, mezi která patří zajištění efektivní výroby, zajištění dodacích termínů a zajištění požadované kvality. V případě, kdy se vstupní požadavky (zakázky) dynamicky vyvíjí, je nutné přizpůsobit i výrobní tok a zahrnout tyto činnosti do plánování. Snahou je zkrátit dodací lhůty pomocí úpravy výrobního sortimentu před vstupem do výroby. Zároveň i zajištění maximální flexibility a pružnosti, což umožňuje přesun jednotlivých výrobků na jiná pracoviště, kde se aktuálně vyrábí výrobky s nižší poptávkou a uvolnilo se místo na pracovišti, kde se vyrábí výrobek s velkou poptávkou. Tímto lze zkrátit dodací lhůtu výrobku při změně poměrového zastoupení na daném pracovišti (Keřkovský, 2012).

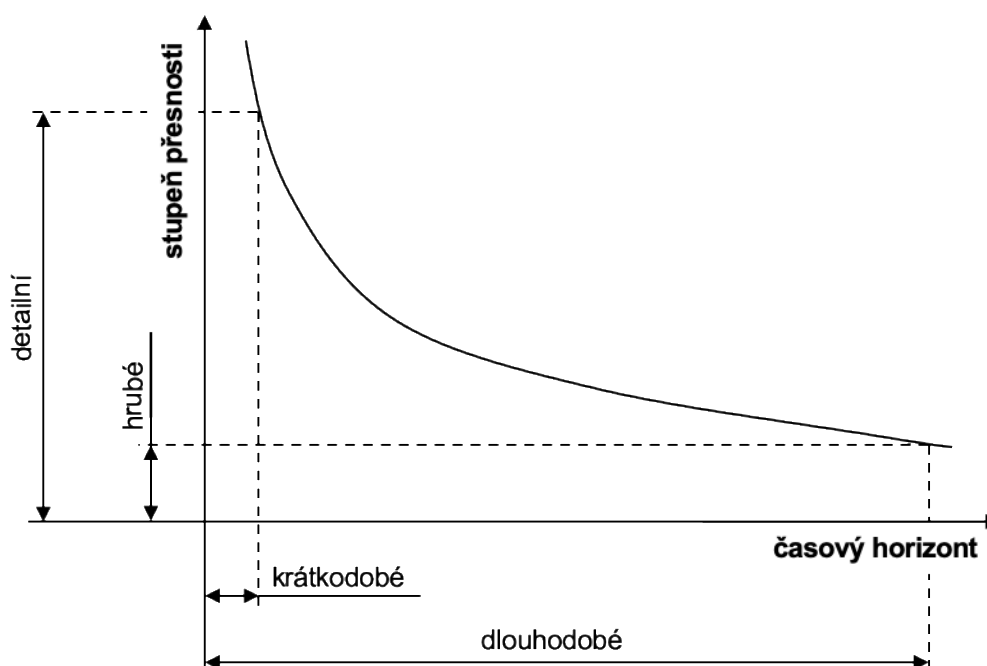
Plánovací proces lze rozdělit do tří hlavních skupin – strategické, taktické a operativní plánování výroby. Strategická úroveň plánování a řízení je zaměřená na dlouhodobé plány podniku, ověření scénářů při rozvíjejícím se trhu, analýzy nutnosti investic pro případné rozšíření výrobních kapacit a k ověření maximálního využití výrobních kapacit. Je součástí při vytváření strategických cílů podniku a identifikuje zároveň šance a rizika, která mohou v delším horizontu nastat. Hlavní výstupem strategické analýzy je dokument definující základní směr rozvoje podniku a stanoví segment na trhu s analýzou konkurence.

Taktická úroveň je konkrétní plánovací dokument, který obsahuje plánovaný počet jednotlivých výrobků, jejich kvalitativní cíl a typ výrobků v případě možnosti individuálních úprav výrobků. Obsahuje informace o segmentu trhu a odhady konkrétních potenciálních zákazníků. V rámci výrobního podniku jsou v těchto

plánech integrovány i zdroje a kapacity, které budou nutné k realizaci těchto výrobků. Taktický plán bývá sestaven jako podklad pro ekonomické vyhodnocení a přímo odráží plánované hospodářské výsledky podniku pro definované období.

Operativní úroveň se zabývá každodenní problematikou výroby. Během operativního plánování vzniká hlavní plán výroby, který obsahuje detailní plán dle směnnosti provozů, kapacitních omezení pracovišť pro jednotlivé typy výrobků, denní rozpad jednotlivých výrobků na všech dílčích pracovištích a s ohledem na rozpracovanost výrobků na meziskladech i náběhy a výběhy jednotlivých výrobků. Slouží především k zajištění zdrojů v krátkodobém horizontu a cílem operativního plánu jsou rovnoměrně rozvržené zdroje, kde jako výstup slouží operativní plán výroby, pomocí kterého pracovníci provádějí pravidelné úkoly k zajištění zdrojů pro následující pracoviště včetně vytvoření rezerv v rámci dnů, týdnů a měsíců.

Tvorba výrobních plánů a jejich hloubka detailů závisí na horizontu plánování, které je znázorněné na obrázku 4. Při strategickém plánování je detail zpracovaných plánů velmi hrubý, slouží především jen k ověření dostačujících výrobních kapacit v jednotlivých provozech v horizontu následujících 10 – 15 let. Operativní plánování je realizováno na základě strategických plánů, a to upřesnění a rozpadu 1 – 2 let do vyššího detailu až na plán do jednotlivých směn (Staš, 2017).



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 70

1.3.1 Cíl řízení výroby

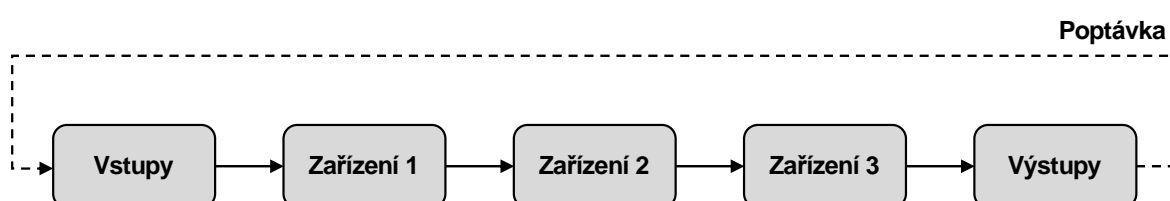
Podle Heřmana (2001) je cílem řízení výroby udržet výrobní podnik v provozu bez prostojů, které mohou být způsobeny nedostatkem zdrojů před následujícím pracovištěm nebo vlivem ucpání pracoviště z důvodu přeplněných skladů a zásobníků za pracovištěm. Dalším cílem je rozložit výrobní požadavky rovnoměrně v podniku dle možností požadovaných výrobků, aby nedocházelo k výrazným změnám v rámci týdnů a měsíců a uchovala se takto produktivita všech pracovišť k využití maximálních kapacit, aby byly výrobky dodány v co nejkratším čase cílovým zákazníkům za co nejnižší náklady, vedoucí ke zvýšení příjmů podniku.

Během operativního řízení výroby je nutné se zaměřit na dostupnost zakázek, podle kterých se v režimech „pull“ vyrábí a zároveň jestli jsou pro tyto zakázky k dispozici veškeré potřebné výrobní materiály. Pokud by tyto podmínky nebyly splněny, je cílem přizpůsobit výrobu takovému stavu, aby nedocházelo k zastavení pracovišť, k plýtvání výrobním časem a nevyužíváním pracovních sil. Během kritických situací, ve kterých by mohlo docházet k velkým výpadkům v hlavním výrobním toku, je nutné omezit i ostatní pracoviště, aby nedocházelo k shromažďování rozpracovaných výrobků nebo nalézt řešení, jak výrobu efektivně využít a snížit dopad větších výpadků a prostojů. Může se jednat o návrh zrušení směn v ostatních provozech nebo o nařízení přesčasových prací na potrefeném pracovišti.

V každém výrobním provozu by měla být předem stanovena metoda pro řízení kritických situací, která se již v minulosti úspěšně aplikovala a v průběhu času optimalizovala tak, aby nedocházelo ke zbytečným pracovním úkonům. Dalším řešením je vybudovat větší sklady a zásobníky materiálů. Větší sklady znamenají vyšší rozpracovanost a riziko nevyužití dostupných kapacit těchto skladů. Každý podnik definuje minimální skladovou zásobu k vykrytí výpadků systému, které lze přepočítat i na hodinovou hodnotu dle taktu zařízení. Skladové zásoby znamenají pro podnik vysoké výdaje, které musí vynaložit před vyhotovením finálního výrobku a dodáním k zákazníkům. Cílem každého podniku je udržet plynulou výrobu s minimálními zásobami materiálů. Ideálním řešením jsou materiály a komponenty dodané formou JIS dodavatelem přímo do sekvence na montážní linku.

1.4 Princip tlaku a tahu

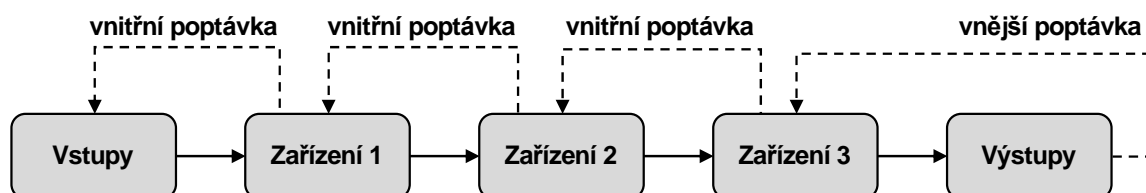
Princip tlaku je spojen s výrobou na sklad bez zákaznické objednávky, přesto není toto tvrzení zcela pravdivé. Společnosti, které vyrábí produkty podle principu tlaku, doplňují volné výrobní kapacity produkty, které jsou populární a určené pro náhodné zákazníky, kteří se rozhodnou k pořízení takového produktu (Rücker, 2006). Není však možné garantovat, že produkt na skladě bude odpovídat přesně požadavkům zákazníka, který má na výběr si vzít ihned skladový produkt anebo si objednat vlastní podle všech požadavků. Systém řízený tlakem je znázorněn na obrázku 5 s ohledem na delší výrobní proces.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Fábry, 2019, str. 14

Obr. 5 Systém řízený tlakem

Druhou metodou je systém řízený tahem, který je znázorněn na obrázku 6. Během této metody se zahájí výroba produktu až po vytvoření zakázky dle zákaznických požadavků, které se řadí do fronty zpracování (Rücker, 2006). Po přijetí požadavku se postupně dostává přes vnitřní poptávky až na první pracoviště, kde se začne fyzicky zpracovávat. Eliminují se příčiny plýtvání, což je např. nadvýroba a nadbytečné skladové zásoby. Systémem řízený tahem lze omezit rozpracovanost a je vhodný pro téměř každou výrobu.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Fábry, 2019, str. 14

Obr. 6 Systém řízený tahem

1.5 Výrobní kapacita

Výrobní kapacita je objem maximální výroby na pracovišti za definovanou časovou jednotku. Často je definována jako počet kusů za minutu v případě drobných výrobků, při výrobě větších nebo komplexnějších výrobků je uvedeno i jako počet kusů za den. Nízká úroveň využití výrobních kapacit má dopad na produktivitu výrobního provozu. Dochází k neefektivnímu využití kapacit a k neefektivnímu řízení, které negativně ovlivní výsledky celé společnosti.

Disponibilní výrobní kapacita

Disponibilní výrobní kapacita je teoretická kapacita, na kterou lze naplánovat výrobu. V případě, že se jedná o denní kapacitu, zahrnuje všechny povinné přestávky, předepsané využitelnosti pracovišť, včetně rezerv náhlých prostojů a výpadků a jedná se o teoretický čistý výrobní čas.

Využitá výrobní kapacita

Využitá výrobní kapacita je závislá na disponibilní kapacitě a nemůže tuto kapacitu překročit. Cílem je zcela naplnit kapacity a využít takto efektivně všechny dostupné zdroje k zvýšení zisku a snížení vícenákladů ve formě plýtvání.

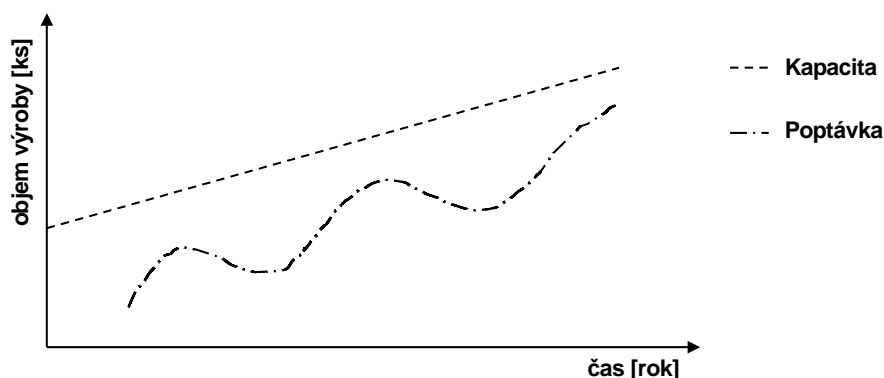
Nevyužitá výrobní kapacita

Pojem nevyužitá výrobní kapacita je definován rozdílem mezi disponibilní kapacitou a výrobní kapacitou. Veškerá nevyužitá kapacita je potenciál pro společnost nabídnout volné kapacity na trhu k využití a zaplnění těchto kapacit s cílem zvýšit celkový zisk. V případě, že ve výrobním toku je nevyužitá kapacita pouze např. na jednom ze tří pracovišť, je možné vyhledat kooperující společnost, která by měla vyhovující výrobky s vyšší poptávkou, než je jejich maximální kapacita. V závislosti s proměnlivou poptávkou na trhu není vždy garantováno tuto kapacitu zcela naplnit, a proto je nutné zvažovat, jak velké by měly být výrobní rezervy a jaká je strategie dané společnosti.

1.6 Plánování a řízení výrobní kapacity

Při plánování a řízení výrobních kapacit je cílem dosáhnout maximálního vytížení všech dostupných výrobních kapacit i s ohledem na směnnosti jednotlivých provozů zapojené do výrobního procesu výrobků, od dodavatele surových materiálů a polotovarů, až po dodavatele komponent a výrobků. Toto řešení vyžaduje dostatečné kapacity skladovacích ploch k udržení zásob v případě prostojů a komplikací v jednom z dílčích výroben. Pro zjednodušení plánování a řízení je vhodné nastavit stejné maximální kapacity v jednotlivých provozech, aby byly vždy stejně využité a ve stejných směnných režimech. Z toho vyplývá i požadavek na menší sklady mezi jednotlivými provozy, ve kterých se ukládá rozpracovaný výrobek. Při plánování výrobních kapacit je nutné dbát na požadavky trhu, aby bylo možné zajistit flexibilitu i v případě změn poptávky po různých výrobcích. Plánování výrobních kapacit spadá v praxi do všech úrovní řízení výroby, a to do strategického, taktického a operativního plánování výroby. O navýšení výrobních kapacit rozhoduje návaznost na investici, její návratnost a využitelnost celkových kapacit, včetně dopadu na ostatní provozy. V případě, že se navýší kapacita jen v meziskladu nebo zásobníku, není garantována maximální využitelnost a slouží následně jen ke zlepšení stavu při poruše v systému. Podle Staše (2017) lze v případě strategického plánování rozdělit kapacitní strategie na pět typů.

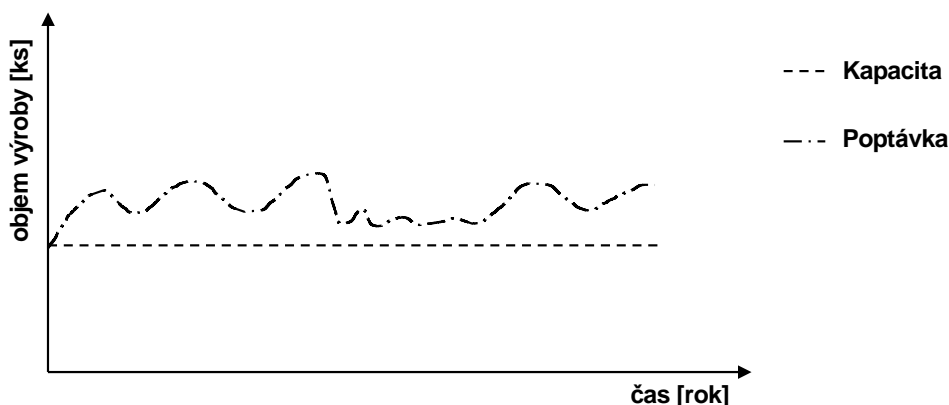
Agresivní strategie, která se využívá při rostoucím trhu k pokrytí celkových požadavků trhu a k eliminaci ztrát a potenciálních zákazníků je znázorněna na obrázku 7. Maximální kapacita se nikdy nevyužije, slouží jako rezerva při větších změnách poptávky.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 71

Obr. 7 Agresivní kapacitní strategie

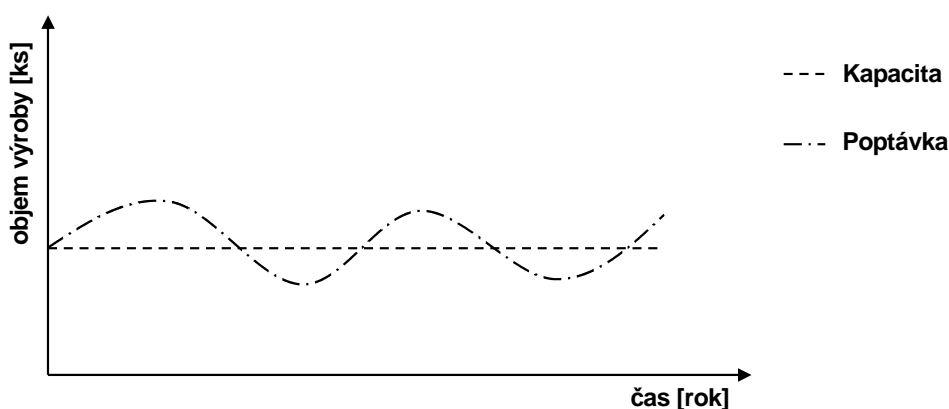
Konzervativní strategie se využívá během nejistoty nebo špatného stavu trhu, kde není jasné, zda poptávka zůstane dlouhodobě nad maximální kapacitou (viz Obr. 8). Tato strategie je bez rizika a bez investic do výrobního provozu, dochází zde ale i k velkým ztrátám potenciálních příjmů a zákazníků.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 71

Obr. 8 Konzervativní kapacitní strategie

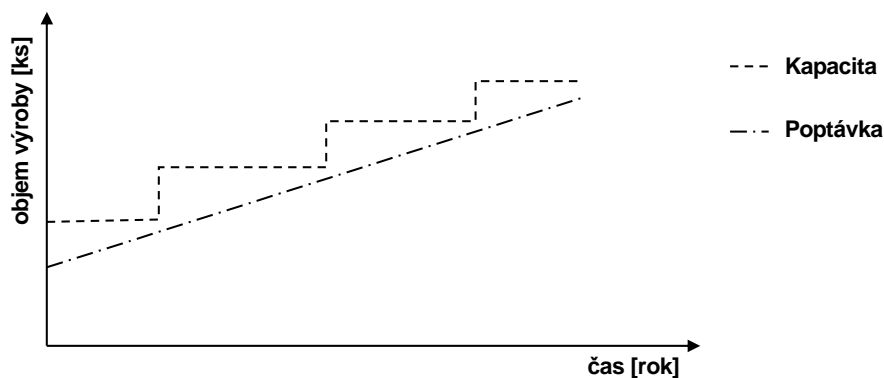
Maximální využití kapacit se využívá při homogenní výrobě, kde jsou požadavky zákazníků závislé na sezonalitě v pravidelných intervalech. Vyrábí se na sklad v období, kdy jsou volné výrobní kapacity a v období, kdy jsou požadavky trhu vyšší než výrobní kapacita, redukuje se skladové zásoby. Výrobní kapacity jsou takto vždy plně využité (viz Obr. 9).



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 71

Obr. 9 Strategie maximálního využití kapacit

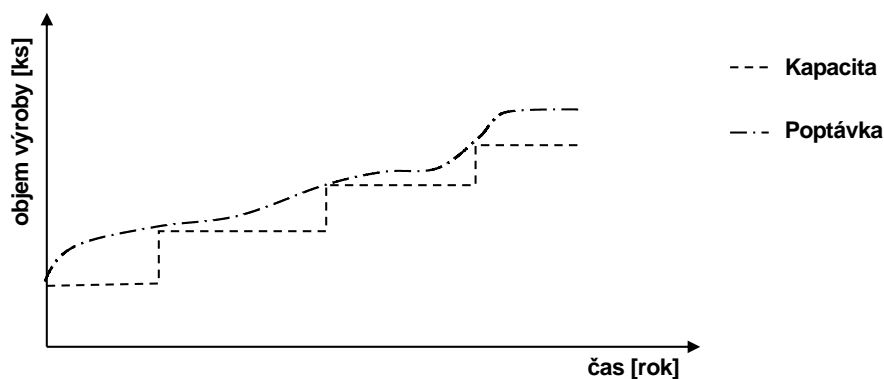
Strategie „Preempt of competition“ je používána při dominantním postavení podniku na trhu. Lze zvyšovat výrobní kapacity s nárůstem poptávky na trhu. Kapacity zůstávají vždy nevytížené, v případě přiblížení hranice maximální kapacity, dochází k navýšení. Nedochozí ke ztrátě potenciálních zákazníků, investice do navýšených kapacit nesmí být příliš vysoká, aby byla návratnost co nejrychlejší (viz Obr. 10).



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 71

Obr. 10 Strategie Preempt of competition

Strategie „Wait and see“, která je znázorněna na obrázku 11, je založena na myšlence, že podnik navýší výrobní kapacity pouze v případě, když je poptávka mnohem vyšší než dostupná výrobní kapacita. Při této zvolené strategii je výrobní kapacita vždy plně využita, neplní se zde požadavky všech zákazníků z důvodu kapacitního omezení, ale při vyšší poptávce na trhu se i tato kapacita navýší a zredukují se dočasně ztráty potenciálních zákazníků.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Staš, 2017, str. 72

Obr. 11 Strategie Wait and see

1.7 Ideální výrobní tok

Pojmem ideálního výrobního toku lze popsat výrobní tok, který neobsahuje žádné nadbytečné transportní trasy, překladiště materiálů a výrobků a ukrývá veškeré pracovní činnosti v blízkosti všech souvisejících pracovišť (Jablonský, 2007). K dodržení těchto podmínek je nutné, aby všechny stroje, zařízení a výrobny měly ideálně stejnou výrobní kapacitu, aby v toku nebylo úzké místo, před kterým by se hromadily výrobky. Pracoviště po úzkém místě by bylo nevytížené a docházelo by k plýtvání výrobním časem a čekáním na komponenty. Schematicky lze ideální výrobní tok zobrazit obdobně jako na obrázku 12, kde je vymodelován tok výroby automobilů.

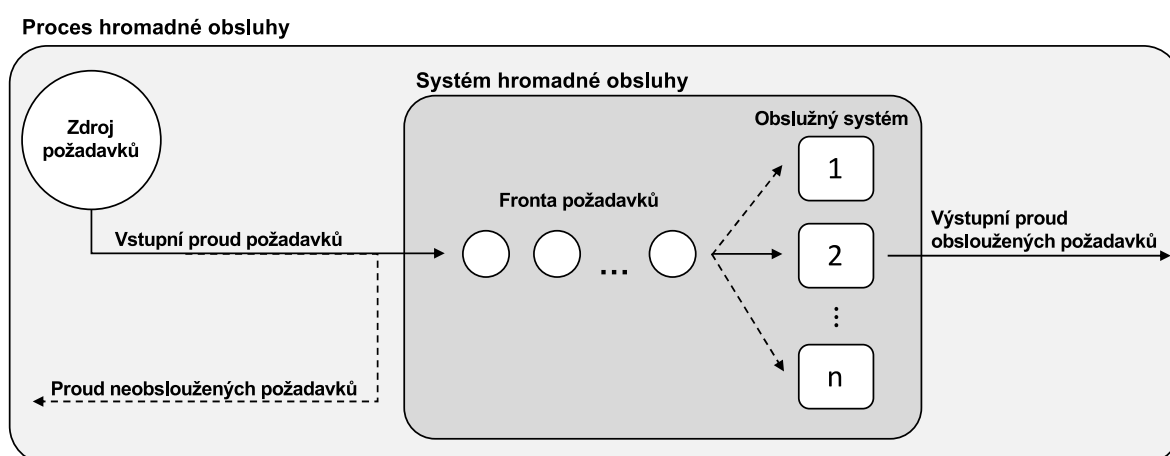


Zdroj: vlastní zpracování na základě Jablonský, 2007, str. 243

Obr. 12 Schéma ideálního výrobního toku

2 Model hromadné obsluhy

V životě se lze běžně setkat s modely hromadné obsluhy, ať se již jedná o nákupní střediska, čekárny, křižovatky se semaforem nebo výrobní provozy. Modely hromadné obsluhy jsou systémy, ve kterých dochází k zpracování požadavků, které do tohoto systému vstupují (Fábry, 2019). Tyto systémy mají omezenou kapacitu, a právě z tohoto důvodu dochází k vytváření front před obslužným místem. Cílem modelu je zanalyzovat systém hromadné obsluhy a ověřit funkčnost navrhovaného řešení nebo již stávajícího řešení pro optimalizaci procesů, zvýšení efektivity a eliminace prostojů s cílem nákladově ohodnotit tyto nedostatky a navrhnout opatření ke zlepšení ekonomických, logistických a výrobních nákladů podniku. Není dáno, že se všechny vstupující požadavky do fronty systému dostanou do obslužného místa. Může dojít k předčasnému vyřazení požadavku z fronty, jako je např. netrpělivý zákazník, vadná montážní součástka nebo díl, který se vrací na repasní pracoviště. Požadavky ve frontě bývají zpracovány dle předem definovaných metod a priorit. Obslužný systém může mít různá uspořádání a různý počet obslužných linek, kde probíhá realizace obsluhy. Po výstupu z obslužného systému je požadavek zpracován a proces ukončen. Ukončený proces může následně navazovat na nový proces hromadné obsluhy, např. ve výrobě na montážní linii se po ukončení všech montážních prací na určitém taktu posune výrobek na následující takt, kde se opět slučují a přimontují komponenty a díly na výrobek. Schematicky lze model hromadné obsluhy znázornit dle obrázku 13.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Jablonský, 2007, str. 239

Obr. 13 Schéma modelu hromadné obsluhy

Systém hromadné obsluhy lze aplikovat na vše, co má vstup a výstup požadavků s mezioperací nebo s dílčí transformací mezi vstupem a výstupem. Je možné se s nimi setkat kdekoli, přesto se ne všechny situace analyzují a nevytváří se modelové situace těchto systémů. V oblasti automobilové výroby je systémem hromadné obsluhy např. montážní linka, obslužné linky v systému jsou pracovníci montážní linky a požadavek je automobil. Více příkladů je rozepsáno v níže uvedené tabulce 1 (Jablonský, 2007).

Tab. 1 Příklady systémů hromadné obsluhy

Systém hromadné obsluhy	Obslužné linky	Požadavek
autoservis	mechanik	auto
čerpací stanice	čerpací stojany	vozidla
pojišťovna	úředník	pojistné události
lisovna	lis	plech
svařovna	svařovací robot	výlisky
lakovna	lakovací box	surové karosérie
montážní linka	montážní pracovník	lakovaná karosérie
montážní linka	montážní pracovník	komponenty a díly

Zdroj: vlastní zpracování na základě Jablonský, 2007, str. 240

V každém systému může být různé uspořádání a množství obslužných linek. Počet linek a jejich uspořádání má vliv na dobu trvání obsluhy. Obsluha je nejdůležitější součástí celého systému, kde se přeměňuje vstup na požadovaný výstup. Ze zákaznického pohledu je velmi důležité, aby požadavky byly zpracovány v nejvyšší kvalitě, za nejkratší čas a za nejnižší náklady.

2.1 Varianty uspořádání obslužných linek

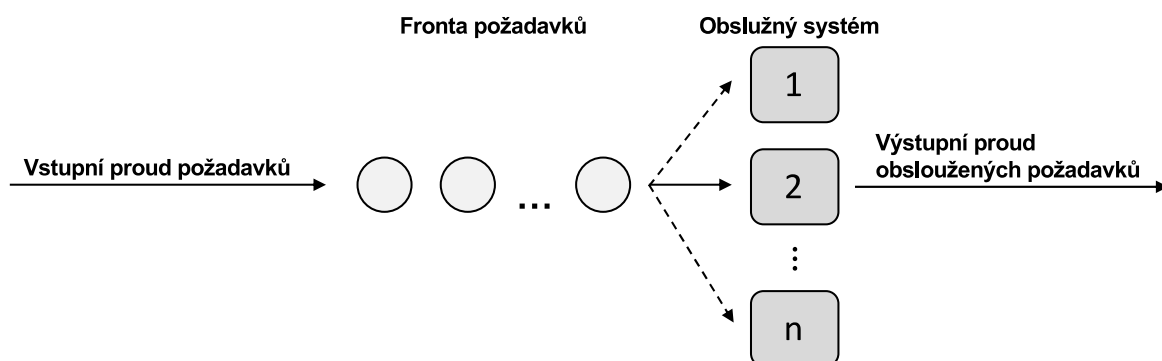
Nejčastější variantou, se kterou se můžeme setkat, je varianta s jedním obslužným zařízením (viz Obr. 14). Před tímto obslužným zařízením se vytváří fronta, která se následně zpracovává v definovaném režimu. Probíhá hlavně v režimu FIFO (first-in, first-out), kde se požadavky odpracují v takovém pořadí, ve kterém přišly do systému hromadné obsluhy. V případě poruchy obslužné linky je nejvyšší pravděpodobnost, že dojde k zastavení chodu celého systému. Toto uspořádání je typické např. pro obsluhu bankomatu.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Jablonský, 2007, str. 243

Obr. 14 Systém HO s jedním obslužným zařízením

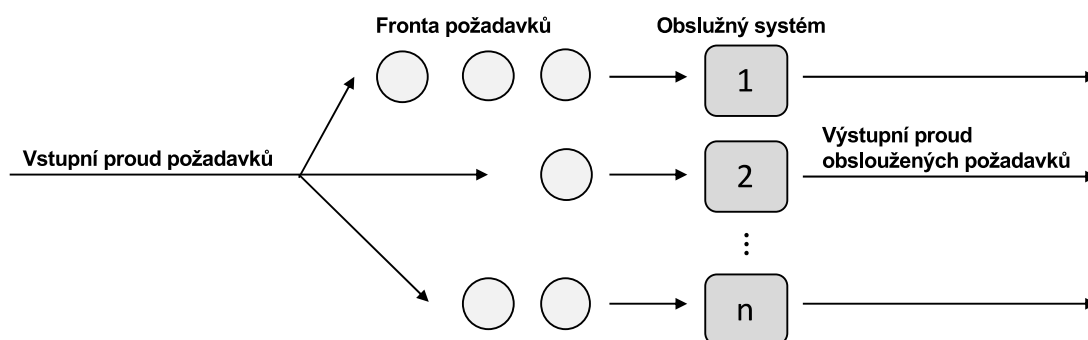
Další variantou je systém hromadné obsluhy s paralelní obsluhou a společnou frontou (viz Obr. 15). V této variantě je k dispozici více obslužných zařízení, které vykonávají stejnou funkci. Obslužné linky jsou paralelně uspořádané a každé obslužné místo zpracovává jeden vstupní požadavek stejného typu. Nový požadavek vstupuje vždy na první volnou obslužnou linku ke zpracování. V případě poruchy jedné obslužné linky lze použít jinou bez ohrožení kompletního zastavení celého systému. S tímto systémem se lze setkat v bankách, kde zákazník obdrží pořadové číslo a čeká na vyzvání systémem k první volné přepážce.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Jablonský, 2007, str. 243

Obr. 15 Systém HO s paralelní obsluhou a společnou frontou

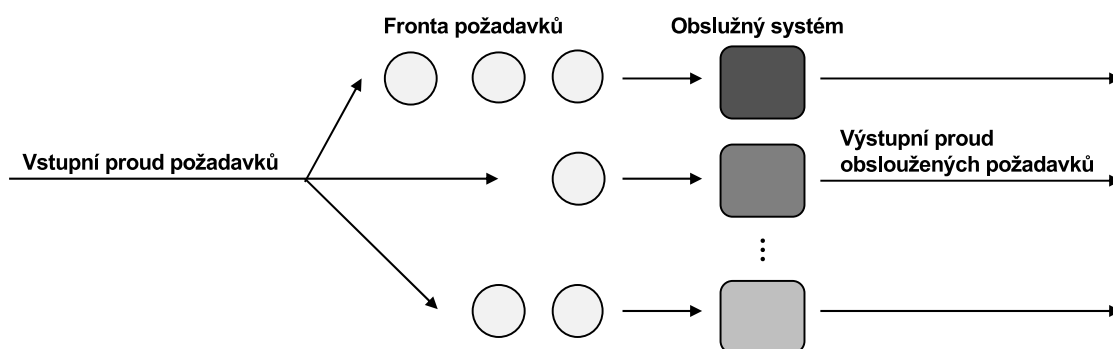
Alternativou předchozí varianty je systém hromadné obsluhy s paralelní obsluhou a samostatnou frontou (viz Obr. 16). Tato varianta je rozdílná ve formě fronty, která je zde samostatná. Jednotlivé vstupy se řadí libovolně do jednotlivých front. Z principu se požadavky řadí do nejkratších a nejrychlejších front systému k ušetření času stráveného ve frontě. V případě poruchy jedné obslužné linky lze přejít k jiné obslužné lince, která vykonává stejnou činnost. Nedojde tak k zastavení celého systému, prodlouží se však doba trvání v systému. Tento systém je obvyklý pro pokladny v supermarketech.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Fábry, 2019, str. 135

Obr. 16 Systém HO s paralelní obsluhou a samostatnou frontou

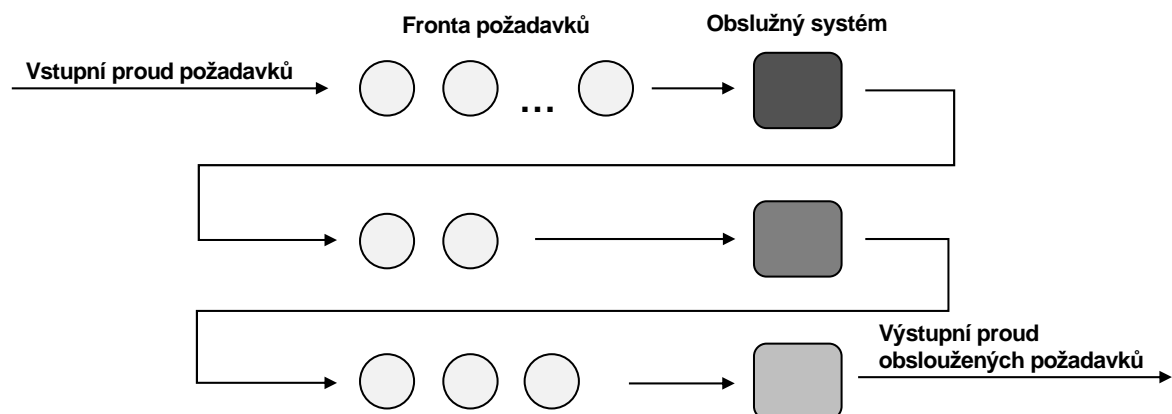
Další variantou (obdobné předchozí) je systém hromadné obsluhy s paralelní neidentickou obsluhou (viz Obr. 17). Jedná se o systém, který má samostatné fronty a odlišné obslužné linky, které vykonávají různé činnosti. V reálném životě lze tento systém nalézt např. v autorizovaném servisu, kde je jedna přepážka zaměřená na prodej nových vozidel, další přepážka na pronájem vozidel a další na příjem do servisu.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Fábry, 2019, str. 135

Obr. 17 Systém HO s paralelní neidentickou obsluhou

Poslední variantou je systém hromadné obsluhy se sériovým uspořádáním obslužných zařízení. Do tohoto systému vstupují jednotlivé požadavky do obslužných linek postupně. Každý požadavek musí projít první obslužnou linkou, než může pokračovat k další obslužné lince. Fronta se vytváří před každou obslužnou linkou. Porucha nebo dlouhá doba trvání na jedné obslužné lince způsobuje nevytížení následující linky a zvýšení zásob v rozpracovanosti mezi předchozí linkou. Tato varianta je náchylná na prostoje a poruchy, které se v případě nízkých zásob mezi jednotlivými linky projeví řetězovou reakcí i do ostatních obslužných linek. Tomuto případu lze částečně předejít vytvořením dostatečných materiálových rezerv mezi jednotlivými obslužnými linkami. Tento systém je např. použitý v sériové výrobě. Ze zjednodušeného pohledu se může jednat o lisovnu, která čeká na vstupní plech a vyrobí výlisky a následující obslužná linka bude svařovna. Svařovna očekává výlisky pro svaření karosérie a následné předání do lakovny, která požaduje surovou karosérii k olakování. Olakovaná karosérie následně vstupuje na montážní linku. Ve větším detailu je tento systém i u konkrétní linky. Každá obslužná linka může představovat určitý výrobní úsek, kde se postupně montují jednotlivé komponenty v určitém pořadí. Systém je schematicky znázorněn na obrázku 18 a je velmi obdobný ideálnímu výrobnímu toku.



Zdroj: vlastní zpracování na základě Jablonský, 2007, str. 243

Obr. 18 Systém HO se sériovým uspořádáním obslužných zařízení

2.2 Režimy fronty

Požadavky, které vstupují do systému hromadné obsluhy, nemusí vystupovat vždy ve stejném pořadí (Jurová, 2013). Závisí na definovaném režimu každého systému a na způsobu možnosti řízení zpracování požadavků ve frontě. Způsoby odbavování fronty dělíme na čtyři základní režimy.

FIFO

V režimu FIFO (First-In, First-Out) jsou požadavky obsluhovány ve stejném pořadí, ve kterém vstupovaly do systému. Tento režim je uplatňován např. u výběru hotovosti z bankomatu, kde se zpracovává fronta dle příchodu uživatelů. Dále se tento režim používá i v automobilovém průmyslu, kde je cílem vyrobit jednotlivé zakázky vozů ve stejném pořadí, ve kterém byly zadány do výroby s ohledem na výrobní restrikce.

LIFO

Další režim je LIFO (Last-In, First-Out). V tomto režimu se požadavky zpracovávají v opačném pořadí, než vstoupily do systému. První požadavek v systému bude vyřízen jako poslední. Využívá se např. ve skladech, kde se odebírají krabice s materiálem z vrchu, tzn., že první se odebere krabice, která byla uložena jako poslední.

PRI

V režimu PRI (Priority system) se požadavky zpracovávají dle priorit jednotlivých požadavků ve frontě. Priority se stanoví dle určitých kritérií, jako je např. VIP osoba nebo v čekárnách akutní případy pacientů. Ve výrobním provozu se tento režim příliš neobjevuje, řídí se zejména v režimu FIFO. Prioritu v tomto případě má vždy požadavek, který vstoupil jako první.

SIRO

Poslední režim je SIRO (Selection in random order), kde se požadavky vybírají z fronty náhodně. Každý požadavek má stejnou pravděpodobnost na zpracování jako požadavky jiné. Tento režim se používá např. při ověřování kvality jednotlivých výrobků, kde se kontrolují výrobky náhodným výběrem. V operativním řízení výroby je tento režim použit při navolení karosérie ze zásobníků do montáže dle montážních technických a materiálových restrikcí, aby nebyla narušena plynulost výroby.

3 Počítačová simulace

Počítačové simulace mají uplatnění ve velké míře podniků a provozů, které slouží hlavně pro prvotní návrhy výrobních závodů, výrobních linek a jednotlivých výrobních úseků a pracovišť. Chtěný stav se přemodeluje do simulačního prostředí softwaru s ohledem na možnosti v reálném prostředí, jako je např. plocha výrobních hal, sklady a regály, pracovní pozice pro manuální práci obsazenou lidskou pracovní silou, požadované manipulátory nabízené dodavatelskou firmou včetně poruchovosti, rychlosti vykonávání pracovních úkonů, dosah robotického ramena a požadovaný výkon.

Pomocí počítačových simulací lze prověřit správnost a funkčnost navržených výrobních scénářů, realizovatelnost výrobních plánů v definovaném mixu sortimentu jednotlivých výrobků a zároveň identifikovat nedostatky v celém toku. Slouží především k uspořené finančních nákladů a času při realizaci výstavby nebo rozšíření aktuálních výrobních linek, zásobníků a dopravníkové techniky. Ze simulací se získá výstup v podobě kódů, chybových hlášek nebo komentářů, které uživatel musí umět interpretovat. Simulace dokáže vyhodnotit správnost celého výrobního provozu, vyznačit úzká místa, časově náročná pracoviště nebo nedostatečné zásobníky skladových materiálů, nevyužité kapacity a mnohem více důležitých informací dle potřeby jednotlivých uživatelů.

Většina simulačních nástrojů nabízí vlastní programovací jazyky a knihovny modelů. Pomocí integrovaných programovacích jazyků lze rychle a jednoduše namodelovat a upravit stávající doplňky obsažené již v simulátoru nebo sestavit zcela nový model linky nebo manipulátorů. Knihovny obsahují již předdefinované prvky k urychlení práce při vytváření modelů výrobních provozů v plném detailu do úplných výrobních úseků. Lze zde nalézt manipulátory a dopravní techniku známých dodavatelských společností.

Z velké nabídky softwarů budou srovnány programy MS Excel, Witness, Simul8, Simprocess a Tecnomatix Plant Simulation, z nichž se vybere jeden program, pomocí kterého se zrealizuje výstavba virtuální továrny, provedení simulací a nastavení změn včetně ověření funkčnosti navržených změn.

3.1 Metoda Monte Carlo

Pro simulační účely lze využít metodu Monte Carlo (Dlouhý a kol., 2011), což znamená numerické řešení matematických úloh pomocí modelování náhodných veličin a statistických odhadů používající pseudonáhodná čísla. Pomocí této metody je možné řešit libovolné matematické výpočty.

Nejčastější postup při této metodě je modelování náhodné veličiny, kde její střední hodnota je rovna hledané hodnotě (ScienceDirect, 2020). Obecný postup při výpočtu metodou Monte Carlo je generování náhodných čísel s rovnoměrným rozdělením v intervalu od 0 až 1. Následně se náhodná čísla transformují na náhodná čísla se složitějším rozdělením, pomocí kterých se přímo počítají odhady charakteristik náhodných veličin anebo se vypočítají pomocí vhodného algoritmu hodnoty a odhady charakteristik náhodné veličiny. Na závěr se výsledky z výpočtů statisticky zpracují. Pro účely simulace výrobního toku je tato metoda nevhodná, cílem je získat reálné chování výrobního toku.

3.2 Microsoft Excel

Microsoft Excel je program vyvinutý společností Microsoft, který slouží pro rozsáhlé výpočtové operace. Uživatel má možnost vypisovat čísla a textové znaky do buněk, provázat je vzorcem a automaticky zabarvovat podmíněným formátem nastaveným na určité vstupní podmínky. Obsahuje velkou řadu matematických vzorců, proměnných, konstant a funkcí, které usnadní práci při výpočtech. Pomocí dalších doplňků lze nástroj využít i pro analytické činnosti a zautomatizování dílčích výpočtů. Vedle matematických funkcí obsahuje Excel i logické funkce, které nahrazují logické operace a vyřeší i minimalizaci logické funkce pomocí Karnaughovy mapy.

Simulace v prostředí Microsoft Excel jsou výpočtové (Dlouhý a kol., 2011), které lze následně vykreslit do grafů. Veškeré výstupy jsou závislé na vstupních proměnných, překalkulovány pomocí vzorců definované uživatelem. Z tohoto pohledu nelze tento nástroj považovat za simulační software, přesto je možné dosáhnout velmi přesných výsledků kalkulací, jako je zjednodušený model k rychlé analýze možností.

Nástroj společnosti Microsoft obsahuje i vlastní XLM programovací jazyk s názvem VBA – Visual Basic for Applications pro počítače s operačním systémem Windows a AppleScript pro počítače s operačním systémem macOS. Pomocí VBA lze

naprogramovat různé programy, které usnadní práci a urychlí výpočetní operace. Pro začínající programátory není nutnost znát programovací jazyk, VBA umožňuje nahrávání scriptu. Programátor následně nemusí psát kód, při nahrávání se VBA kód napíše automaticky dle kliků do buněk, na záložky a ikony uživatelem. Nevýhodou je výsledný, obsáhlý a nepřehledný kód, který uživatel musí nahrát znovu v případě změn v řádcích či sloupcích dokumentu.

3.3 Witness

Simulační program společnosti Lanner Group Ltd. s názvem Witness slouží pro prediktivní a diskrétní simulace. Je to přední nástroj pro dynamickou simulaci a pro optimalizaci výrobních a logistických procesů (Lanner, 2020). Witness je jednoduchý nástroj, který nevyžaduje vysoké hardwarové požadavky počítače. Software nabízí webové služby, kde se prostřednictvím API lze napojit na vysoce výkonné servery a zrealizovat experimenty vzdáleně na cloudu. Při této variantě se odesílají veškerá data o projektu na servery, kde se celý model vygeneruje a zahájí simulaci. Po ukončení se data stáhnou zpět na výchozí počítač, kde si uživatel může projít výsledky simulace. Hlavní výhodou je úspora času při samotné simulaci, která probíhá na serverech s mnohem vyšším výpočetním výkonem, než je běžný stolní počítač. Nevýhodou je použití pro velké společnosti, které chtějí zachovat experimentální data interně ve společnosti. V tomto případě lze Witness rovněž využít a simulace spouštět interně na méně výkonném počítači s delší dobou trvání, ale s uchováním citlivých údajů.

3.4 Simul8

Simul8 je simulační software vyvinutý společností SIMUL8 Corporation. Jedná se o nástroj pro plánování, navrhování a optimalizování reálných výrobních a logistických systémů (Dlouhý a kol., 2011). Umožňuje uživateli vytvořit uživatelsky přívětivý počítačový model, pomocí kterého lze identifikovat omezení kapacit, selhání systémů a poruchy, nastavení směnných režimů a mnohem více proměnných omezujících efektivitu a produktivitu výrobních procesů. K dispozici jsou i nástroje pro prezentaci získaných dat, stochastické, diskrétní a grafické modelování a simulace metodou Monte Carlo. Neumožňuje však modelovat v 3D.

Vytvořené simulační prostředí lze spouštět a analyzovat na stolním počítači s operačním systémem Windows nebo i prostřednictvím webu na serveru.

3.5 SimProcess

Jedná se o nástroj určený pro hierarchické modelování, který kombinuje mapování procesů, simulaci diskrétních událostí a kalkulaci na základě aktivit do jednoho snadno použitelného rozhraní (Dlouhý a kol., 2011). Poskytuje předpřipravené stavební bloky pro konstrukci dynamických modelů a pro zkušené programátory je zde i vlastní programovací jazyk k přidání komplikovanějších logických operací. Program je především určen pro organizace, které chtějí snížit rizika spojená s velkou změnou procesů. Software umožňuje rychle a snadno analyzovat scénáře a s využitím technologie Java poskytuje potřebnou flexibilitu k splnění těchto potřeb.

Mezi hlavní funkce programu patří hierarchické modelování, objektově orientované modelování, animace procesů, standardizované a uživatelsky nastavitelné reporty a grafické výstupy a diagramy v reálném čase (SimProcess, 2020). Výhodou je jednoduché modelování pomocí přetažení bloků do modelovacího okna, využitelné šablony, analýzy úzkých míst a možnosti optimalizací procesů. Tento software je dostupný pro operační systémy Windows, macOS a Linux.

3.6 Tecnomatix Plant Simulation

Plant Simulation je simulační nástroj firmy Siemens PLM Software, který slouží pro simulaci a optimalizaci výrobních systémů a procesů (Bangsow, 2015). Pomocí tohoto nástroje lze optimalizovat materiálový tok, využití zdrojů a logistické procesy pro všechny úrovně výrobního procesu, od lokálních dodavatelů až po konkrétní výrobní linky.

V době nárůstu nákladů a časové tísně ve výrobě, se pro ověřování funkčnosti celého výrobního toku používá Plant Simulation, který nabízí velké možnosti individualizací výrobních úseků. Pomáhá vytvořit digitální model logistických a výrobních systémů k posouzení charakteristiky systému a navržení optimalizace výkonu. Digitální model umožňuje uživateli provést experimenty se scénáři „co-kdyby“ bez omezení existujících výrobních systémů, anebo dlouho před instalací samotného výrobního provozu před zahájením výstavby. Rozsáhlé analyzační nástroje, statistiky a grafy pomáhají jednoduše a rychle vyhodnocovat uživatelům rozdílnosti výrobních scénářů a doloží je spolehlivými výsledky pro rozhodnutí.

Hlavním přínosem tohoto softwaru je zvýšení produktivity existujících zařízení o více než 20 %, redukce investic do nových plánovaných zařízení, úspora času při

simulaci celé výrobní směny až výrobních let během několika minut, zlepšení uspořádání výrobních linek a mnohem více.

K vysoce efektivnímu pohledu v 2D modelu lze prostřednictvím doplňků zobrazit 3D virtuální prostředí pomocí integrované knihovny Plant Simulation nebo pomocí vlastních CAD modelů, které vytvoří vzájemnou vazbu mezi 2D modelem. Při změně modelu se tyto parametry propočítají i do modelu jiné dimenze, aby simulace byly vždy přesné a aktualizované. Vzniká zde vzájemná vazba mezi CAD modelem vytvořeným např. v AutoCAD nebo Catia a simulačním prostředím v Plant Simulation.

Součástí softwaru je i vlastní integrovaný programovací jazyk s názvem SimTalk, který slouží k sestavení modelů a ovládání celé simulace (Bangsow, 2015). Každý objekt v simulaci obsahuje vestavěné proměnné, pomocí kterých uživatel může nastavovat různé užitečné funkce, jako je poruchovost strojů, maximální výkon, trajektorie pohybu robotického manipulátoru a protočení upínací hlavy. V případě, že model bude vyžadovat detailnější nebo zcela odlišné proměnné, lze pomocí programovacího jazyka SimTalk tyto proměnné doprogramovat.

Pro sestavení modelu logistického a výrobního systému bude použit software Tecnomatix Plant Simulation 15.0 vyvinutý firmou Siemens PLM Software, který splňuje veškeré požadavky pro sestavení virtuální společnosti s detailním výrobním tokem. Doporučené hardwarové a softwarové požadavky tohoto systému jsou vypsány v tabulce 2, včetně porovnání s hardwarem využitým pro simulaci.

Tab. 2 Doporučený a použitý HW a SW

	Doporučený HW a SW	Použitý HW a SW
Operační systém	Windows 7 64-Bit SP1, Windows 10 64-Bit	Windows 10 64-Bit
Procesor CPU	Intel Core i5-4430 3.0 GHz Quad-Core	Intel Xeon E5 3.7 GHz Quad-Core
Paměť RAM	8 GB	32 GB
Grafická paměť GPU	1 GB s OpenGL	2x2 GB FirePro D300
Úložiště	2 GB HDD	2 TB SSD
Rozlišení	1680 x 1050 px	5120 x 2880 px

Zdroj: vlastní zpracování na základě (SimPlan, 2020)

4 Modelování komplexního výrobního provozu

4.1 Analýza vstupních dat

Výrobní provoz je rozdělen na dílčí úseky, mezi které patří svařovny, lakovny a montážní linky včetně zásobníků mezi pracovišti o předem definované kapacitě. Každá svařovna, lakovna a montážní linka umí zpracovat jen předem definované typy výrobků a není možné vyrábět sortimenty dle dostupnosti na skladě. Existují z důvodu komplexnosti výrobků omezení v počtu po sobě jdoucích stejných výrobků a musí se před vstupem třídit do sekvencí pro optimální využití kapacit a k eliminaci neplánovaných prostojů. Výrobní linky mají definovanou délku, počet pozic, rychlost, takt, denní kapacitu a dobu trvání průchodu výrobku od začátku až po konec. Pro model výrobního provozu budou použity počty pozic, doby trvání průchodů a maximální denní kapacity, které jsou uvedeny v tabulce 3. Ostatní parametry se v simulačním prostředí automaticky spočítají z definovaných vstupů nebo nejsou pro tento model důležité.

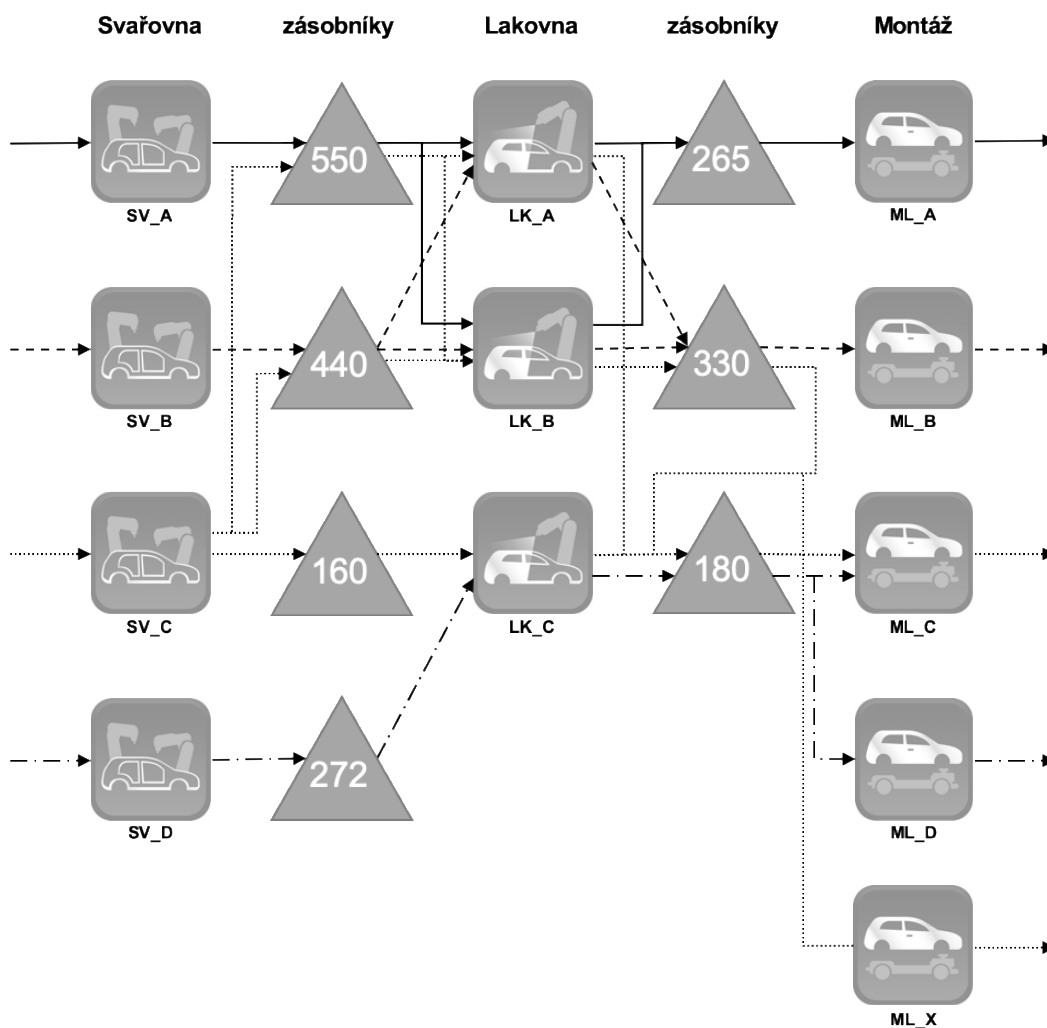
Tab. 3 *Detaily výrobních linek*

provoz	počet pozic [výrobků]	doba trvání průchodu [minut]	max. denní kapacita [výrobků/den]
SV_A	400	360	1380
SV_B	450	445	1270
SV_C	300	480	780
SV_D	240	420	680
LK_A	840	290	2220
LK_B	420	480	700
LK_C	630	820	980
ML_A	380	345	1360
ML_B	285	275	1270
ML_C	210	300	810
ML_D	110	310	410
ML_X	250	420	174

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Kapacity jednotlivých provozů jsou zpracovány v tabulce a přiložené v příloze 1. Obsahují celkové kapacity provozů a dílčí kapacity po jednotlivých modelech na základě maximální denní produkce jednotlivých typů výrobků.

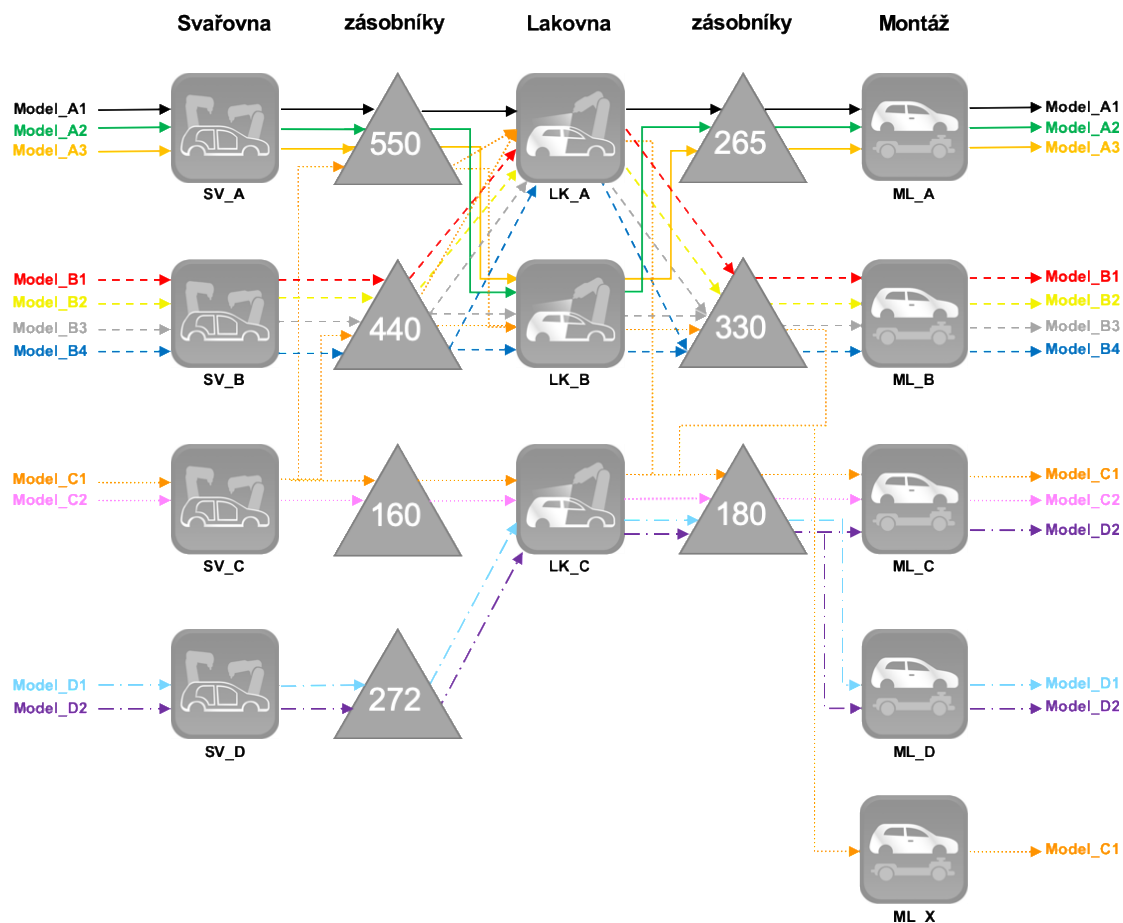
Výrobní provoz je komplexně provázán k získání flexibility při maximálním vytěžení jednotlivých provozů dle poptávky. Mezi všemi provozy jsou nainstalovány zásobníky a sklady k vykrýtí poruch na předchozích a následujících pracovištích a k celkovému vykrýtí rozdílností ve směnných režimech. Celý výrobní tok včetně detailu je znázorněn na obrázku 19. Provozy s označením A a B se nachází v jiném regionu než provozy s označením C a D. Vzdálenost mezi regiony je 150 km a cesta trvá 130 minut. Hodnoty v zásobnících udávají celkový počet dostupných pozic k uskladnění rozpracovaných výrobků. Provoz ML_X je jediný provoz, který se nenachází ve stejném státě, jako jsou ostatní provozy. Vzdálenost do provozu ML_X je 400 km a transport rozpracovaného výrobku do této lokace trvá 210 minut. Slouží jen pro dokončovací operace, jako je finální montáž výrobků a následný export do dealerských sítí.



Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Obr. 19 Uspořádání pracovišť a detailní výrobní tok

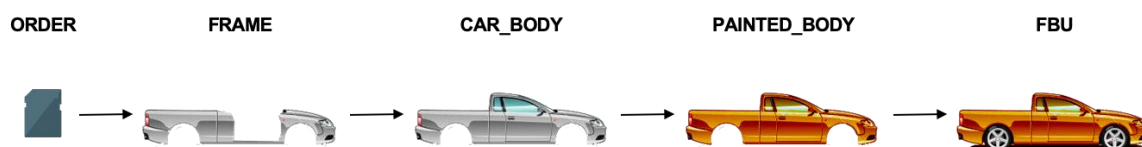
Přesto, že je možné transportovat a převážet jednotlivé výrobky mezi provozy, existují omezení těchto modelů na jednotlivých linkách. Z tohoto důvodu je nutné před vstupem na montážní linku sestavit vždy výrobní sekvenci, která je povolená v daném provozu. Na obrázku 20 je znázorněn výrobní tok po jednotlivých modelech. Maximální denní kapacity modelů na linkách jsou sepsány v příloze 1.



Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Obr. 20 Výrobní tok po jednotlivých modelech

Průchodem pracovišť se ze zákaznické zakázky stává hotové vozidlo. Průběžný vývoj přes svařovnu, lakovnu a konečnou montáž je znázorněn na obrázku 21 a tento vývoj je zpracován pro všechny jednotlivé výrobky v simulačním modelu Plant Simulation k rychlé identifikaci stavu zakázky a výrobku ve výrobním toku.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení průběhu simulace

Obr. 21 Vývoj zakázky až po finální výrobek

Podle odhadů expertů je navržena tabulka požadovaných objemů, které se dle zkušeností prodají v definovaném období. Seznam jednotlivých typů výrobků, jejich požadovaný objem a zisk z prodeje je uveden v tabulce 4.

Tab. 4 Seznam typů výrobků, požadovaný objem a zisk z prodeje

typ výrobku	požadovaný objem [ks]	zisk z prodeje [Kč/ks]
Model_A1	254 850	4 350
Model_A2	52 000	1 100
Model_A3	28 120	1 940
Model_B1	155 400	1 580
Model_B2	58 700	1 760
Model_B3	40 250	2 110
Model_B4	58 150	3 680
Model_C1	105 400	4 530
Model_C2	59 150	1 020
Model_D1	85 200	6 150
Model_D2	89 700	6 710
Model_C1 v ML_X	0	2 270
Σ	986 920	

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Směnné režimy pro jednotlivé provozy jsou uvedené v tabulce 5. Tyto režimy platí pro týdny, kdy je možné vyrábět bez omezení. V případě, že je v týdnu státní svátek nebo nařízená odstávka výroby, jsou tyto směnné režimy příslušně upraveny podle pravidel společnosti. Výrobní kalendáře pro jednotlivé směnné režimy a regiony jsou přiloženy v přílohách 6 – 10.

Tab. 5 Směnné režimy v provozech

provoz	směnný režim
SV_A	16S
SV_B	16S
SV_C	18S
SV_D	18S
LK_A	17S
LK_B	16S
LK_C	18S
ML_A	16S
ML_B	16S
ML_C	18S
ML_D	18S
ML_X	15S

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Provozy jsou v chodu nepřetržitě a s ohledem na reálné podmínky byly definovány bezpečnostní přestávky a přestávky na stravování během pracovní doby. Bezpečnostní přestávky jsou celkem dvě během jedné směny a jedna bezpečnostní přestávka trvá 5 minut. Přestávka na stravování trvá 30 minut. Seznam všech přestávek je přiložen v příloze 11.

Čistý výrobní čas na jednu směnu lze vyjádřit vztahem:

$$t_v = t_s - t_p - 2 \cdot t_b \quad (1)$$

t_v ... čistý výrobní čas na směnu [min]

t_s ... doba trvání směny [min]

t_p ... doba trvání stravovací přestávky [min]

t_b ... doba trvání bezpečnostní přestávky [min]

Stravovací přestávka slouží k odpočinku a stravování zaměstnanců během pracovní doby. Bezpečnostní přestávky slouží ke krátkému zastavení výrobních linek pro údržbářské činnosti, zkontrolování všech výrobních úseků a případně k včasné identifikaci možných hrozeb a rizik poškození manipulátorů a dopravníků. Během bezpečnostní přestávky mají zaměstnanci možnost využít odpočinkové zóny nebo sociální zařízení.

Čistý výrobní čas na jednu směnu podle vztahu (1) po dosazení hodnot je celkem 440 minut a výpočet je následující:

$$t_v = 480 - 30 - 2 \cdot 5 = 440 \text{ minut}$$

Z pohledu rozdílných směnných režimů je nutné zaměstnat určitý počet personálu na každou směnu. Simulace se nezabývá kalkulací počtu pracovníků na pracovišti, ale zabývá se možnostmi využití směnných režimů s cílem využít co nejefektivněji dostupné zdroje a ušetřit personální náklady společnosti. Veškeré náklady nebo úspory jsou vyčíslené vůči plnému vytížení jednotlivých provozů ve směnných režimech dle tabulky 5 a jsou shrnuté v tabulce 6. Veškeré provozy bez hodnot nebo neuvedené v tabulce nemají variabilitu nebo možnost tyto parametry měnit z důvodu nedostatku personálu v daném regionu.

Tab. 6 Úspory při změně směnných režimů

provoz	úspory za nezrealizovanou 16. směnu [Kč/směna]	úspory za 16. směnný režim [Kč/rok]	úspory za 16. směnný režim s plánovanou odstávkou [Kč/rok]
SV_A	65 600	-	-
SV_B	60 800	-	-
LK_A	-	3 474 400	7 416 400
LK_B	34 800	-	-
ML_A	155 200	-	-
ML_B	127 600	-	-

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Pro správný chod výrobního toku je nutné využít mezisklady a zásobníky. Jejich kapacity jsou definovány v tabulce 7 včetně nákladů k rozšíření a typu zásobníků. Pod pojmem regálový zásobník si lze představit zásobník, kde je možné vybrat požadovaný výrobek bez ohledu na to, v jakém pořadí přišel do zásobníku. Dopravníkový zásobník je pouze prodloužený a zrychlený dopravník, na kterém se výrobky pohybují. Není možné změnit pořadí nebo vyjmout výrobek z toku. Průtokový zásobník je obdoba dopravníkového zásobníku, který vyskladňuje v režimu FIFO.

Tab. 7 Kapacity zásobníků a logistických ploch

zásobník	typ	kapacita [počet pozic]	náklady na rozšíření [Kč/pozici]
Buffer_SV_A	regálový	550	20 000
Buffer_SV_B	regálový	440	20 000
Buffer_SV_C	průtokový	160	20 000
Buffer_SV_D	dopravníkový	272	15 000
Logistic_hall	regálový	680	bez možnosti
Buffer_ML_A	regálový	265	20 000
Buffer_ML_B	regálový	330	20 000
Buffer_ML_C	průtokový	180	20 000
Buffer_ML_D			
Buffer_ML_X	průtokový	1 000	bez možnosti
Load_SV_A	průtokový	50	bez možnosti
Load_SV_B	průtokový	40	bez možnosti
Unload_SV_C	průtokový	110	bez možnosti
Unload_LK_A	průtokový	40	bez možnosti
Load_LK_C	průtokový	200	bez možnosti
Unload_ML_B	průtokový	12	bez možnosti

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Náhodné poruchy, komplikace při dopravě mezi regiony a státy a náhodné využití vyšší produktivity, nejsou zahrnuty v modelu výrobního provozu. Vychází se z plynulé konstantní výroby v teoretickém modelu.

4.2 Analýza úzkého místa

Před zahájením modelování simulačního prostředí je nutné provést analýzu úzkého místa ve výrobním toku. Na základě denní výrobní kapacity a bez zohlednění různých směnných režimů v provozech, je nejužší místo montáž, kde je denní kapacita dohromady 3 850 výrobků. Se zohledněním směnných režimů lze určit nejužší místo ve výrobním toku na základě týdenních kapacit.

V případě, že by se nepoptala spolupráce s jinou společností, která vlastní montážní linku ML_X, byly by montážní linky nejužším místem v celém toku o týdenní kapacitě 21 346 výrobků. V případě, že by se kooperovalo a využívaly by se veškeré dostupné výrobní kapacity, staly by se v tomto případě lakovny úzkým místem o celkové týdenní kapacitě 22 189 výrobků.

Detailní přehled je uveden v tabulce 8 po jednotlivých provozech.

Tab. 8 Analýza úzkého místa

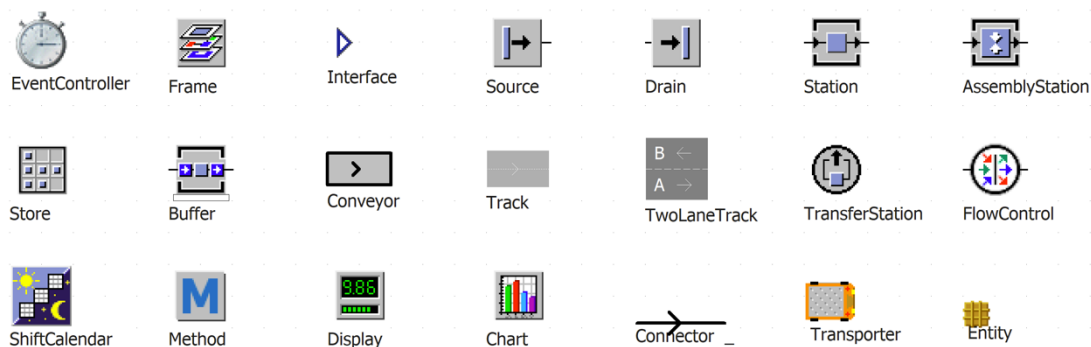
provoz	směnný režim	denní kapacita [výrobků/den]	týdenní kapacita [výrobků/týden]
SV_A	16S	1 380	7 360
SV_B	16S	1 270	6 773
SV_C	18S	780	4 680
SV_D	18S	680	4 080
Σ		4 110	22 893
LK_A	17S	2 220	12 578
LK_B	16S	700	3 731
LK_C	18S	980	5 880
Σ		3 900	22 189
ML_A	16S	1 360	7 253
ML_B	16S	1 270	6 773
ML_C	18S	810	4 860
ML_D	18S	410	2 460
ML_X	15S	174	870
Σ (bez ML_X)		3 850	21 346
Σ (s ML_X)		4 024	22 216

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

4.3 Simulační model provozu

Po spuštění programu Plant Simulation se vytvoří nový model, do kterého se vkládají objekty podle požadovaných funkcí. V nabídce programu jsou objekty, které se starají o materiálový tok, zdroje, tok informací, uživatelské parametry, mobilní jednotky, uživatelské objekty a další dle nainstalovaných a dostupných knihoven.

K sestavení virtuální továrny jsou použity následující objekty na obrázku 22.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

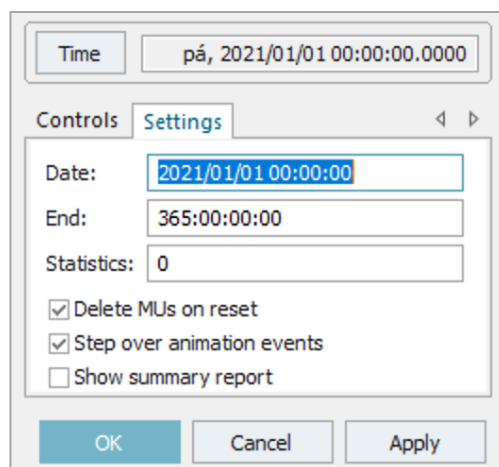
Obr. 22 Využité objekty v simulaci

Význam a využití jednotlivých objektů:

- Connector – slouží k propojení dopravníků s pracovišti, zásobníků, vstupů a výstupů do objektů *Frame*.
- EventController – k nastavení časových událostí, datum zahájení simulace a dobu trvání simulace, rychlost průběhu simulace a podmínky resetu.
- Frame – objekt, do kterého lze vkládat jednotlivé komponenty pro zjednodušení komplexnosti zobrazeného simulačního prostředí.
- Interface – určené k definování vstupů a výstupů z objektů *Frame*.
- Source – definování zdrojů materiálů, zakázek a mobilních jednotek.
- Drain – odebírání hotových výrobků ze simulačního prostředí.
- Station – zpracování výrobků v definované době trvání.
- AssemblyStation – změna vstupního objektu na nový objekt.
- Store – sklad výrobků s možností odebírání podle požadavků následujícího pracoviště.

- Buffer – zásobník výrobků, které se odebírají metodou FIFO.
- Sorter – zásobník s možností řazení vstupních objektů do určitého pořadí.
- Conveyor – dopravník mezi pracovišti a využité rovněž jako montážní linka.
- Track – jednosměrná pozemní komunikace pro mobilní jednotky.
- TwoLaneTrack – obousměrná pozemní komunikace mezi regiony a státy.
- TransferStation – manipulátor pro vyskladňování a naskladňování mobilních jednotek.
- ShiftCalender – výrobní kalendář s možností nastavení směnných režimů, přestávek, státních svátků, dovolených a plánovaných odstávek.
- Method – objekt k definování programovacích kódů v jazyce SimTalk.
- Display – zobrazuje hodnotu vázanou na objekt.
- Chart – vykresluje grafy a diagramy vázané na definovaný objekt.
- Transporter – mobilní jednotka k přepravě rozpracovaných výrobků.
- Entity – výrobek určený k průchodu výrobním tokem.

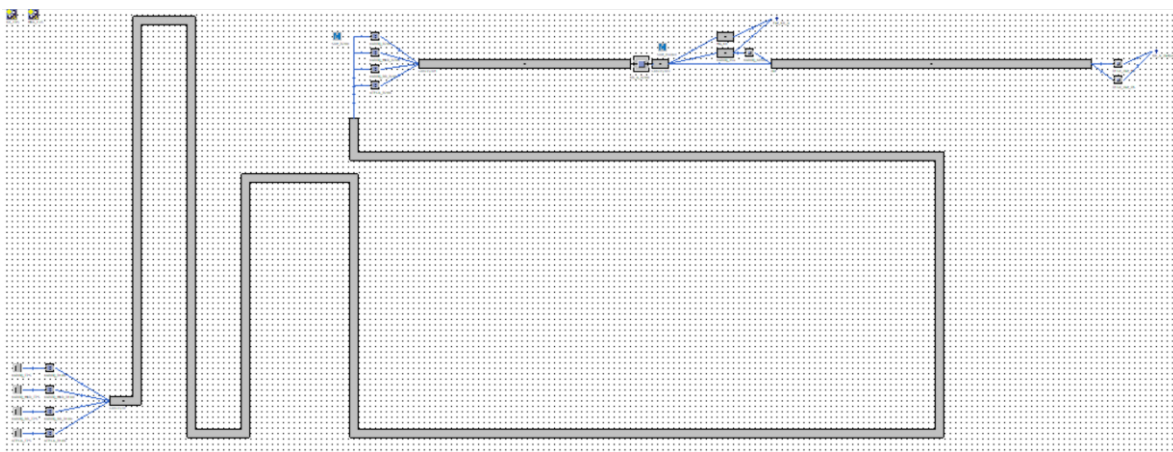
Prvním objektem, který se v simulaci nastaví, je *EventController*. Je důležité nastavit sledované časové období, což je v tomto projektu jeden kalendářní rok, začínající dne 01.01.2021; 00:00 s dobou trváním 365 dní. Simulace se ukončí po uplynutí této doby. Pro ovládání chodu simulace je doporučeno nastavit rychlost na maximální možnou hodnotu. Nastavení je zobrazené na obrázku 23.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 23 Nastavení objektu *EventController*

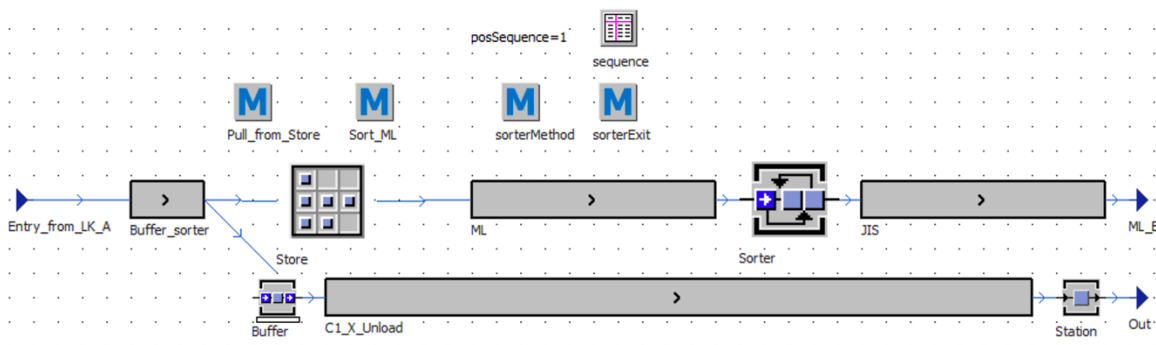
Objekt s názvem *Frame* umožňuje modelovat jednotlivé linky uvnitř tohoto objektu a zjednodušit chod celé simulace. Zjednodušuje celý výrobní tok včetně dílčích procesů a slučuje je do jednoho objektu, ve kterém se následně zrealizují veškeré změny individuálně. Po rozkliknutí objektu lze nastavit detailní informace a reálný tvar dopravníků, počty pracovišť a jejich doby trvání, vstupy a výstupy ze zásobníků a přeskládování z nákladních vozidel na logistické plochy pro další manipulaci s výrobky. Na obrázku 24 je znázorněn obsah objektu *Frame* pro svařovnu s označením SV_C.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 24 Frame – Detail svařovny SV_C

Pomocí *Interface* lze propojit výrobní toky mezi jednotlivými vytvořenými objekty *Frame* (viz Obr. 25). Definují vstupy a výstupy podle zapojení konektorů a definovaném směru toku. Veškeré *interface* jsou v modelu nastavené na velkou množinu možných připojených konektorů.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 25 Využití interface v objektu Frame

Objekt s názvem *Source* dodává v simulaci zákaznické zakázky ve všech svařovnách a tím dává impuls k zahájení výroby. Každá svařovna má různé typy výrobků, které jsou jedinečné. V celém výrobním toku je v oběhu 12 různých výrobků. Hodnota, která udává počet dostupných zakázek, je nastavena na -1, což v simulačním prostředí znamená nekonečno. Tímto způsobem lze zjistit, kolik výrobků může být vyrobeno za definované období. V jiném případě lze hodnotu upravit na přesnou hodnotu k identifikaci, jak dlouho je možné vyrábět s nastavenými premisami, než se zakázky zcela zpracují. Na obrázku 26 je znázorněné nastavení všech zdrojů zakázek. Množství je nastaveno na neomezené množství, protože cílem simulace je ověřit maximální možné vyrobitelné objemy jednotlivých výrobků. V řádku *MU* se udává zdroj předmětu, který z daného objektu vystupuje. Pro všechny svařovny je nastavena zakázka výrobku, která se na prvním pracovišti načte a přemění se na rám výrobku.

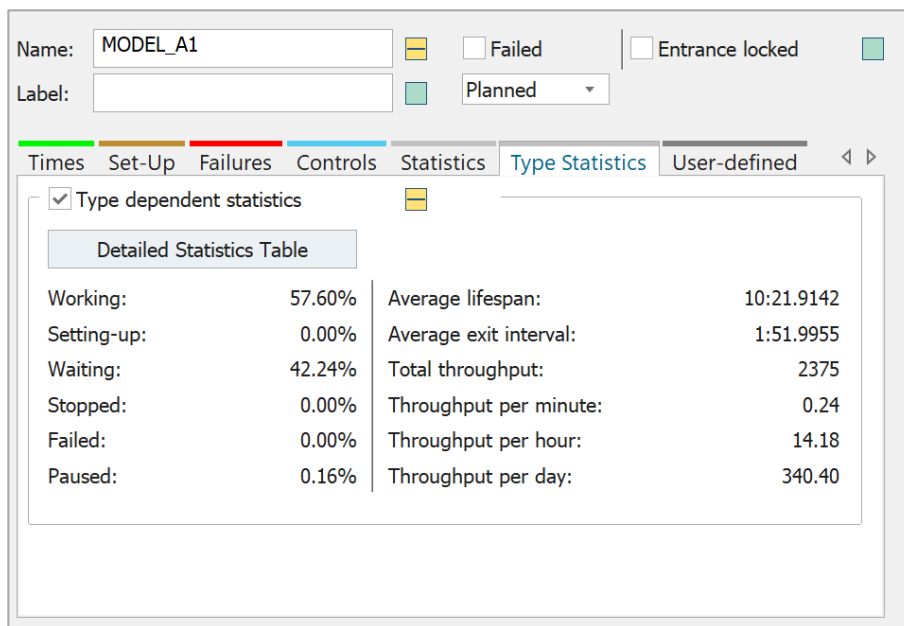
V případě dopravy je zdroj využitý k definování počtu nákladních vozidel, která jsou dostupná. V těchto případech je množství omezené na 2 až 8 nákladních vozidel podle regionu a vzdálenosti k přeskladňovacímu skladu. Jako výstupní zdroj jsou nákladní vozidla o kapacitě pro 6 až 8 výrobků.

The screenshot shows a configuration window for a 'Source' object. The 'Name' field is set to 'Source'. The 'Label' field is empty. There are checkboxes for 'Failed' (unchecked) and 'Exit locked' (unchecked). The 'Planned' dropdown is selected. The 'Attributes' tab is active, showing 'Operating mode' set to 'Blocking' (checked). 'Time of creation' is set to 'Interval Adjustable' with an 'Amount' of '-1'. 'Interval', 'Start', and 'Stop' are all set to 'Const' with a value of '0'. 'MU selection' is set to 'Constant' and 'MU' is set to '*.MUs.Entity'. The window has 'OK', 'Cancel', and 'Apply' buttons at the bottom.

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 26 Využití interface v objektu *Frame*

Na konci výrobního toku se nachází pro každý výrobek objekt s názvem *Drain*, který odvádí výrobky ze simulačního prostředí a počítá počty odevzdaných výrobků. Tímto způsobem lze po ukončení simulace zjistit reálné vyrobitelné roční objemy po jednotlivých typech výrobků a vyhodnotit vhodnost navržených scénářů. Níže na obrázku 27 lze vyčíst informace o ukončené výrobě modelu A1, jako je množství vyrobených výrobků celkem, počet výrobků vstupující za minutu, za hodinu a kolik výrobků je vyhotovených v průměru každý den.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 27 Detailní výpis informací z objektu *Drain*

Pomocí pracovní stanice s názvem *Station* se v modelu kontrolují maximální denní kapacity jednotlivých linek, které propouštějí v definovaném intervalu výrobky dále na následující pracoviště ve stejném pořadí, ve kterém přicházejí. Výrobní kapacity nelze nastavit na základě vstupních dat v jednotkách výrobků za den, a proto je nutné všechny kapacity přepočítat podle vztahu (2) na dobu trvání zpracování výrobku v sekundách.

$$t_t = \frac{3 \cdot t_v \cdot 60}{n_d} \quad (2)$$

t_t ... doba trvání zpracování výrobku [sec]

n_d ... požadovaný denní objem [počet]

V příloze 2 je souhrnná tabulka se všemi denními kapacitami přepočtenými na dobu trvání zpracování jednoho výrobku, které jsou použité v modelu. Jako vzor výpočtu je uveden vztah pro výpočet doby trvání zpracování výrobku při denní kapacitě pro 600 výrobků.

$$t_s = \frac{3 \cdot t_v \cdot 60}{n_d} = \frac{3 \cdot 440 \cdot 60}{600} = 132 \text{ sec}$$

Vypočítaný údaj pro danou výrobní stanici se zadává do řádku doby trvání zpracování a lze zadat přímo v jednotkách sekund, kde program hodnotu automaticky přepočte na dny, hodiny, minuty a sekundy (viz Obr. 28)

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 28 Nastavení procesního času objektu Station

Velká část výrobního toku obsahuje vždy jen jedno pracoviště s frontou požadavků, jinými slovy se jedná o systém hromadné obsluhy s jedním obslužným zařízením. V případě lakovny s označením LK_A lze mluvit o systému hromadné obsluhy s paralelní obsluhou a společnou frontou. Z důvodu lakovacích procesů, nutností sušení a vytvrzování laku není možné s předepsanou denní kapacitou lakovat tyto objemy na jedné lakovací lince. Z tohoto důvodu obsahuje tato lakovna celkem 3 lakovací linky a výrobky se odebírají ze společné fronty. Dvě ze tří lakovacích linek mají denní kapacitu 540 výrobků, třetí lakovací linka s vyšším výkonem zvládá olakovat až 1 140 výrobků. Tento návrh pro nerovnoměrné rozdělení kapacit slouží pro simulaci odběru více pracovišť z jedné společné fronty a pro možnost změny směn na jednotlivých lakovacích linkách.

AssemblyStation jsou rozmístěny ve všech provozech, které mění stavy výrobků ze zakázky na svařený rám, ze svařeného rámu na svařenou karosérii, ze svařené karosérie vzniká karosérie s ochranou proti korozi a následně lakovaná karosérie. Lakovaná karosérie následně vstupuje na konečnou montážní linku, kde se z lakované karosérie sestaví finální výrobek, který putuje do objektu *Drain*.

Správné nastavení pro přeměnu výrobků z jednoho typu na následující je zobrazen na obrázku 29. Nutnou podmínkou je sestavení jednotlivých fází výrobků a vytvoření požadovaného počtu *Entit* pro jednotlivé fáze. V prostředí virtuální továrny je možné změnit model na šest různých typů, které jsou detailně rozepsány níže v bodě zabývajícím se objekty *Entity*. V řádku nastavení módu montáže se nastaví *delete MU*, v řádku výstupního *MU* je nutné zvolit položku *new MU*, aby průchodem této stanice daný výrobek byl odstraněn a nahrazen stejným typem, ale v jiném stavu rozpracovanosti. Do řádku *MU* je nutné nastavit novou *Entitu*, která se má průchodem vytvořit. Doba, za kterou má být zpracováno, je nastavena na 1 sekundu, jelikož se zde pouze přeměňují stavy výrobků. Časy pro zpracování jsou upravené na začátku svařoven, aby byly do výrobního toku puštěny výrobky v sekvenčním pořadí a s ohledem na celkové kapacity montážních linek. Není požadováno pustit do výrobního toku více výrobků, než je možné během daného období vyrobit a vyexpedovat, protože by se jednotlivé provozy zastavily vlivem nízkého odběru.

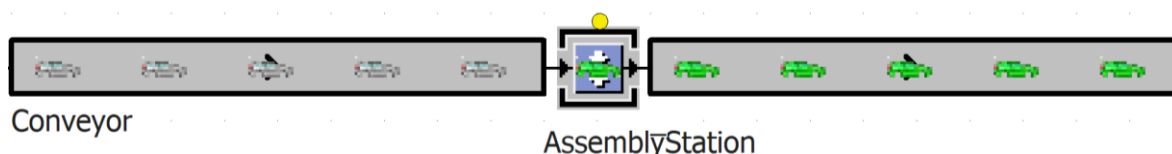
The screenshot displays the configuration window for an *AssemblyStation*. At the top, there are fields for 'Name' (set to 'AssemblyStation') and 'Label'. To the right of these fields are several checkboxes: 'Failed' (unchecked), 'Entrance locked' (checked), 'Planned' (selected in a dropdown), and 'Exit locked' (checked). Below this is a tabbed interface with tabs for 'Attributes', 'Times', 'Set-Up', 'Failures', 'Controls', 'Exit', 'Statistics', 'Importer', and 'Entity'. The 'Attributes' tab is active, showing the following settings:

- Assembly table: None
- Main MU from predecessor: 1
- Assembly mode: Delete MUs
- Exiting MU: New MU
- MU: *.MU.MODEL_A1_LACK
- Sequence: MUs then Services

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 29 Nastavení přeměny výrobku v objektu *AssemblyStation*

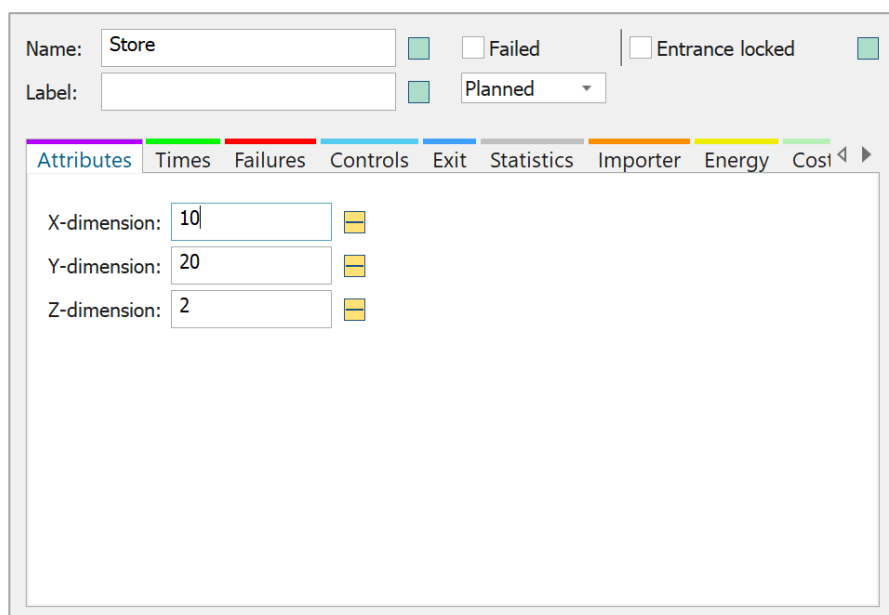
Na obrázku 30 je modelový případ procesu lakování výrobku, kde vstupuje výrobek s ochranou proti korozi do lakovací linky, výstupní výrobek obsahuje již povrchový finální lak a je připravený pro vstup na montážní linku.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 30 Přeměna výrobku v objektu AssemblyStation

Store je využitý jako logistická plocha s možností výběru konkrétního typu výrobku na následující pracoviště, sklad nebo dopravník. V modelu je tento objekt využitý i jako regálový zásobník výrobků, kde pomocí kódu v programovacím jazyce SimTalk je vybrán rozpracovaný výrobek na následující pracoviště. Jedná se o flexibilnější zásobník, než je dostupný *Buffer*. U regálového zásobníku nebo skladovacích ploch se nastavují rozměry ve třech dimenzích. Tyto dimenze představují pozice, kam lze vložit výrobek bez ohledu na jeho rozměr. Na obrázku 31 je znázorněné nastavení modelového regálového zásobníku, kde je nastavena šířka deseti pozic, hloubka dvaceti pozic a výška dvou pozic. Tímto nastavením je sestaven zásobník o celkové kapacitě pro čtyři sta výrobků.

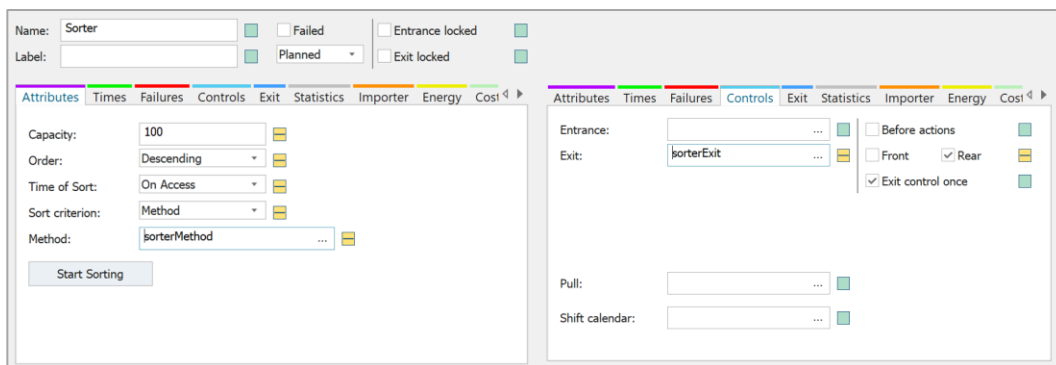


Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 31 Nastavení kapacity objektu Store

K udržení plynulého chodu výrobního provozu ve stejném směnném režimu jsou v toku vloženy zásobníky typu *Buffer*, které dokáží udržet nastavené množství výrobků, v případě že by se na následujícím pracovišti neodebíraly. Vyskladňují se v režimu FIFO, ve stejném pořadí, ve kterém do objektu přicházely. Parametry, které lze nastavit, jsou kapacita zásobníku, typ zásobníku podle režimu FIFO nebo LIFO a indikátor zaplněnosti. Během průběhu simulace je možné pozorovat stav využití zásobníku. V detailní statistice položky jsou následně vidět informace o počtu výrobků, které zásobníkem prošly a počet výrobků, které byly maximálně v jeden moment uloženy.

Sorter slouží k uspořádání výrobků do správného pořadí, řazení do sekvencí pro montážní linku. Na *sorter* jsou vázány položky *method*, které obsahují kód v programovacím jazyce SimTalk a propojené tabulkou s přesným požadovaným pořadím výstupu. *Sorter* je v modelu zařazen za zásobníky před montážní linkou, aby bylo možné vrátit pořadí výrobků do původní sekvence, ve které vstupovaly do svařovny. Tento krok je pro provozy s jinými směnnými režimy a komplexním výrobním tokem velmi důležitý, jelikož dochází k promíchání výrobků vstupujících z více svařoven do určených lakoven v různých směnných režimech a s různými denními kapacitami. Do řádku kapacit na listu atribut se nastaví maximální počet výrobků, které se do *sorteru* můžou uskladnit (viz Obr. 32). Čas zahájení třídění je nastaven na parametr dle přístupu, jakmile bude výrobek k dispozici, dojde k řazení. Pořadí, do kterého má být sekvence seřazena, je definováno kódem zapsaným v objektu *method*. Pro vystupující výrobky je následně nastavena další podmínka, která vyhodnocuje typ výrobku, který opustil sorter a porovnává parametry s tabulkou.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 32 Nastavení funkcí objektu *Sorter*

Kód, který řídí metodu třídění a uspořádání je definován následovně:

```
--sorterMethod
: real
is
do
if @.name.sequence[1,posSequence] then
    return 100;
else
    return 0;
end;
--@
end;
```

Tímto kódem simulace vyhledává podle seznamu s názvem *sequence* výrobek, který je v seznamu na pozici podle ukazatele *posSequence*. Pokud tento objekt nalezne, přesune ho na první pozici pro vypuštění. V případě, že by objekt nebyl k dispozici, vyhledá další možný výrobek a dojde k nedodržení sekvence. Při vypuštění výrobku z objektu *sorter* se zaktivuje další kód, který řídí hodnotu řádku v tabulce udávající sekvenci. Tento kód vypadá následovně:

```
--sorterExit
is
do
posSequence:=posSequence+1;
if posSequence > sequence.yDim then
    posSequence:=1;
end;
end;
```

Pomocí této metody se počítá řádek v sekvenční tabulce, ze které má být vybrán další výrobek, který se musí vypustit na další výrobní operaci. Každým průchodem se proměnná *posSequence* navyšuje o konstantní hodnotu 1. Ukazatel aktuálního aktivního sekvenčního čísla je znázorněn pomocí variabilního ukazatele hodnot. Tento ukazatel je nastaven na celočíselnou hodnotu, začínající na hodnotě 1. V případě, že je řádek v sekvenční tabulce prázdný a hodnota *posSequence* vyšší než hodnota v řádku *sequence*, vrátí kód do ukazatele hodnotu 1 a cyklus vypouštění sekvencí počítá od začátku. Kód je univerzální a lze ho použít pro všechny modely s nutností třídění. Jediná věc, která se musí změnit, je vstupní tabulka požadované sekvence uživatelem.

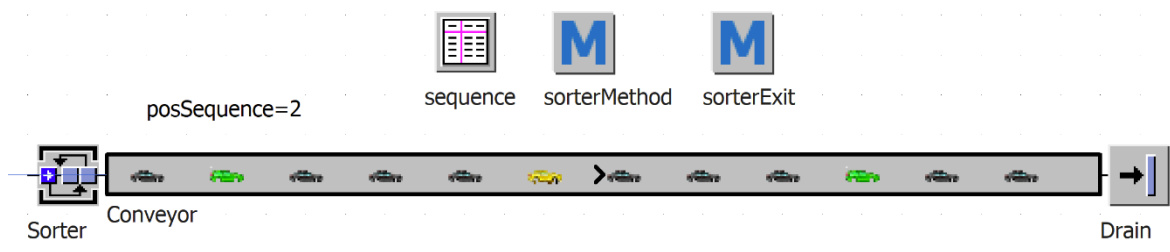
Tabulka *sequence* je dána uživatelem a je možné si definovat pořadí, ve kterém se mají výrobky řadit před výstupem. Z této tabulky získávají informaci výše popsané kódy. Na obrázku 33 je znázorněna sekvence výrobků vstupující na montážní linku s označením ML_A.

	string 1	string 2
1	MODEL_A1_LACK	
2	MODEL_A1_LACK	
3	MODEL_A1_LACK	
4	MODEL_A2_LACK	MODEL_A3_LACK
5	MODEL_A1_LACK	
6	MODEL_A1_LACK	
7	MODEL_A1_LACK	
8	MODEL_A3_LACK	MODEL_A2_LACK

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 33 Seznam výrobků v požadované sekvenci

Algoritmus vyhledá nejdříve výrobek s názvem MODEL_A1_LACK, pokud tento objekt nalezne, přeřadí ho na první pozici. Následně provede tuto operaci i na řádku dva a tři. Na řádku čtyři vyhledá výrobek s názvem MODEL_A2_LACK, pokud ten nalezne, přesune ho na čtvrtou pozici, pokud tento výrobek nenalezne, pokusí se nalézt alespoň výrobek MODEL_A3_LACK a umístí ho na čtvrtou pozici. Pokud by nebyl ani tento model k dispozici, vybere automaticky další dostupný. Výsledná výrobní sekvence v simulačním prostředí je znázorněna na obrázku 34.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 34 Vizualizace výrobní sekvence

Dopravníky a výrobní linky jsou sestavené z objektu *Conveyor*, které přesouvají výrobky skrze celý výrobní tok. U všech dopravníků je nastavena hodnota počtu pozic a doba trvání průchodu. Rychlost jednotlivých dopravníků je následně dána automaticky simulačním softwarem. Vzdálenost mezi výrobky je nastavena na minimální odstup o velikosti 0 metrů. Vychází se z předpokladu, že výrobky jsou umístěné na paletách a na nosičích, které na sebe navazují a nemají mezi sebou mezeru. Na obrázku 35 je přehled možností nastavení parametrů pro montážní linku. Délka linky je závislá na počtu pozic a na předepsané vzdálenosti mezi výrobky. Celkem lze umístit až 380 výrobků při plné obsazenosti všech pracovních pozic. Doba trvání průchodu je nastavena na 350 minut.

The screenshot displays the configuration window for a conveyor line named 'ML_A'. The 'Attributes' tab is active, showing the following settings:

- Name: ML_A
- Label: (empty)
- Status: Planned
- Entrance locked:
- Exit locked:
- Length: 719 m
- Width: 1.5 m
- Speed: 0.03423809523 m/s
- Time: 5:50:00
- Acceleration:
- Capacity: 380
- MU distance type: Minimum Gap
- Accumulating:
- Automatic stop:
- Backwards:
- Acceleration: 1 m/s²
- Deceleration: 1 m/s²
- MU distance: 0 m

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 35 Nastavení montážní linky ML_A

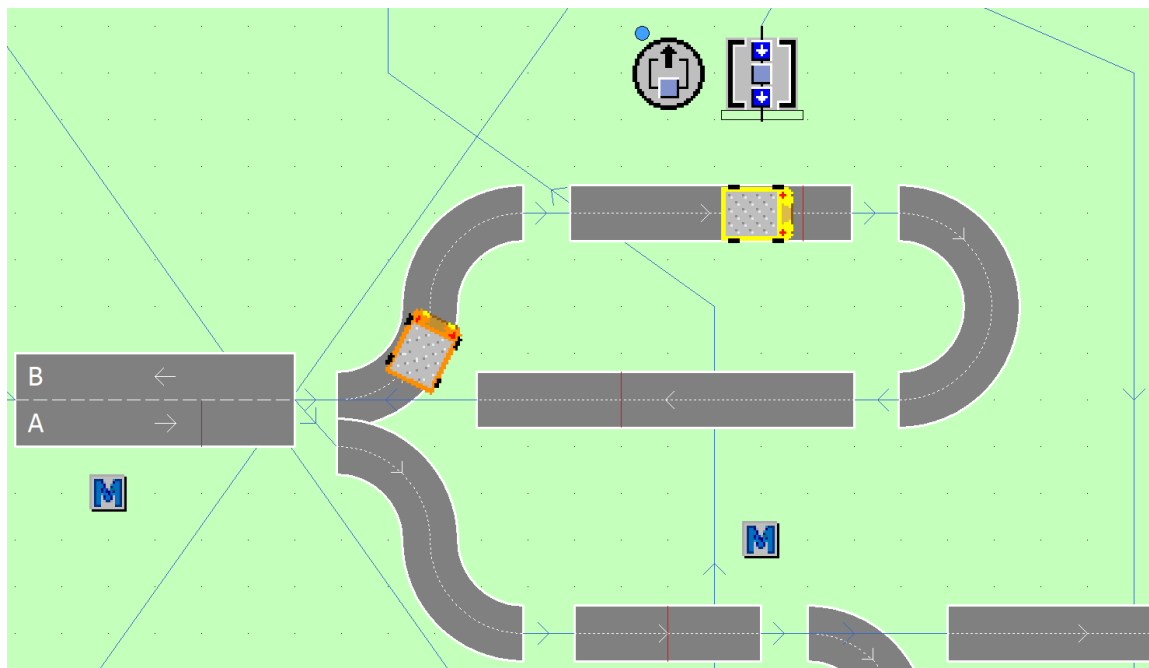
Track je jednosměrná pozemní komunikace a je využita pro vytvoření obchvatů, nájezdových tras pro mobilní jednotky a pro smyčky, aby se nákladní vozidla mohla lépe pohybovat mezi výrobními závody a na logistických plochách. Z velké části jsou tyto tratě vybaveny a naprogramovány sensory, které dávají nákladním vozidlům signály k pohybu po závodě. Orientují se podle zaplněnosti zásobníků a logistických ploch, aby věděla, odkud mají odebírat výrobky a kam je mají odtransportovat.

Velmi podobný objekt je *TwoLaneTrack*, který na rozdíl oproti objektu *Track* umožňuje jízdu v obou směrech. V simulačním modelu se využívá pro pozemní

komunikaci mezi regiony a státy a pro vnitrozávodní dopravu. Umístěné sensory na pozemní komunikaci jsou zobrazeny jako kolmé červené linie. Jako příklad provedení nákladního vozidla po závodě lze použít rozvoz surových karosérií z jednoho regionu do druhého. Kód popisuje situaci, pokud je v zásobníku v regionu méně než 34 výrobků, jehož celková kapacita je určena pro 40 výrobků, tak nákladní vozidlo odveze svůj náklad do tohoto skladu. Pokud tato podmínka neplatí, náklad se odveze do dalšího skladu, který slouží jako překladiště a karosérie uloží, dokud se neuvolní místo v zásobníku. Kód v jazyce SimTalk vypadá následovně:

```
--delivery.parts.to.region.1
if buffer1_region1.numMU < 34
    @.destination:=buffer1_region1
else
    @.destination:=buffer2_region1
end
```

Jedná se o část kódu pro jeden úsek a na celém okruhu je zaimplementováno 25 sensorů pro správné řízení nákladních vozidel na křižovatkách, zjištění stavů zásob na přilehlých skladech a k odklonění dopravy na příslušné pracoviště. Jednosměrná a obousměrná komunikace včetně nákladních vozidel a sensorů pro řízení je znázorněna na obrázku 36, kde nákladní vozidla nakládají rozpracované výrobky k odvozu do jiných regionů.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 36 Zobrazení sensorů na dopravní komunikaci

Jeden z nejdůležitějších a nejkompexnějších objektů v modelu je *TransferStation*, pomocí kterého lze nakládat a vykládat výrobky ze zásobníků a logistických ploch na transportní techniku a přepravit mezi regiony a státy pro další zpracování. V modelu je nainstalováno celkem dvanáct stanic, které obstarávají sklady a transportní techniku k plynulému průběhu výroby a maximálnímu vytížení všech výrobních linek. Vykládka a nakládka jednoho výrobku trvá v průměru dvě minuty. *TransferStation* je vázána na *Track* a na *Buffer* a *Store*, kde ze zásobníku *Buffer* odebírá připravené výrobky na transport a nakládá je na nákladní automobil, který zastaví na definované hranici označené senzorem. Po přepravě výrobků na požadovanou destinaci odebírá *TransferStation* výrobky z nákladních automobilů a ukládá je do zásobníků typu *Store* nebo *Buffer*, odkud jsou následně dále zpracovány a nasazeny do výrobního toku mezi ostatní výrobky.

Na obrázku 37 je znázorněné nastavení pro nákladní stanici. Je nastavená nakládka výrobků z logistického skladu na nákladní vozidlo, které se nachází na dopravní komunikaci. V záložce *times* se nastaví doba trvání nakládky jednoho výrobku. V záložce pokročilých atributů je nastavené, aby se naložily vždy všechny dostupné výrobky. V případě, že je na skladě méně výrobků, než je kapacita nákladního vozu, odjíždí nevytížený, aby byla zachována rotace po závodech a eliminovalo se riziko zastavení jiného provozu z důvodu neodebírání výrobků. Celý detailní kód v jazyce SimTalk je přiložen v příloze 12.

The image shows a configuration window for a 'TransferStation' object. At the top, there are input fields for 'Name' (containing 'Loading_point') and 'Label', along with a 'Failed' checkbox. Below this is a 'Label' field and a dropdown menu set to 'Unplanned'. A series of tabs are visible: 'Attributes', 'Times', 'Failures', 'Advanced Attributes', 'Advanced Controls', and 'Statistics'. The 'Attributes' tab is active, showing a 'Station type' section with four radio button options: 'Load' (which is selected), 'Unload', 'Reload', and 'Move'. Below this, there are two sections: 'Parts from:' with a dropdown set to 'Logistic_Storage' and a '...' button, and 'Target is on:' with a dropdown set to 'Load_to_street' and another '...' button. At the bottom, there are two 'Sensor position:' fields, both set to 'Lane A' via dropdown menus, with a numerical value '6.5' entered in the second field.

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 37 Nastavení objektu *TransferStation*

Všechny výrobní kalendáře z příloh 6 – 10 jsou přetřansformovány do objektu *ShiftCalender*, kde jsou nastaveny směnné režimy pro všechny jednotlivé provozy, plánované bezpečnostní a stravovací přestávky, státní svátky a dovolené. Následně se všechny kalendáře přiřadí k příslušným pracovištím, která jsou v činnosti podle definovaných režimů. Ve vytvořeném výrobním podniku začíná první směna v neděli v 22:00 hodin a trvá 8 hodin včetně bezpečnostních přestávek a stravovací přestávky, které jsou uvedené v příloze 11. Na obrázku 38 je zobrazené nastavení směnného režimu pro montážní linku ML_A včetně přestávek a časy zahájení a ukončení směn.

Shift	From	To	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	So	Pauses
1 RS	6:00	13:59	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	08:00-08:05; 10:15-10:45;
2 OS	14:00	21:59	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16:00-16:05; 18:15-18:45;
3 NS	22:00	5:59	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	00:00-00:05; 02:15-02:45;

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 38 Nastavení směnného režimu pro ML_A

Na záložce kalendáře je možné přiřadit další omezení v jednotlivých dnech. Slouží především k zapracování dovolených, státních svátků a plánovaných odstavek výroby. Zadávají se vždy dny, kdy je výroba omezená, případně i čas v konkrétním dni, na jaký časový interval je den zkrácen (viz Obr. 39).

	Date From	Date To	Reduce Time To	Comment
1	2021/01/01			
2	2021/01/02			
3	2021/04/01		00:00-21:59	Eastern
4	2021/04/02	2021/04/04		Eastern
5	2021/04/05		22:00-23:59	Eastern

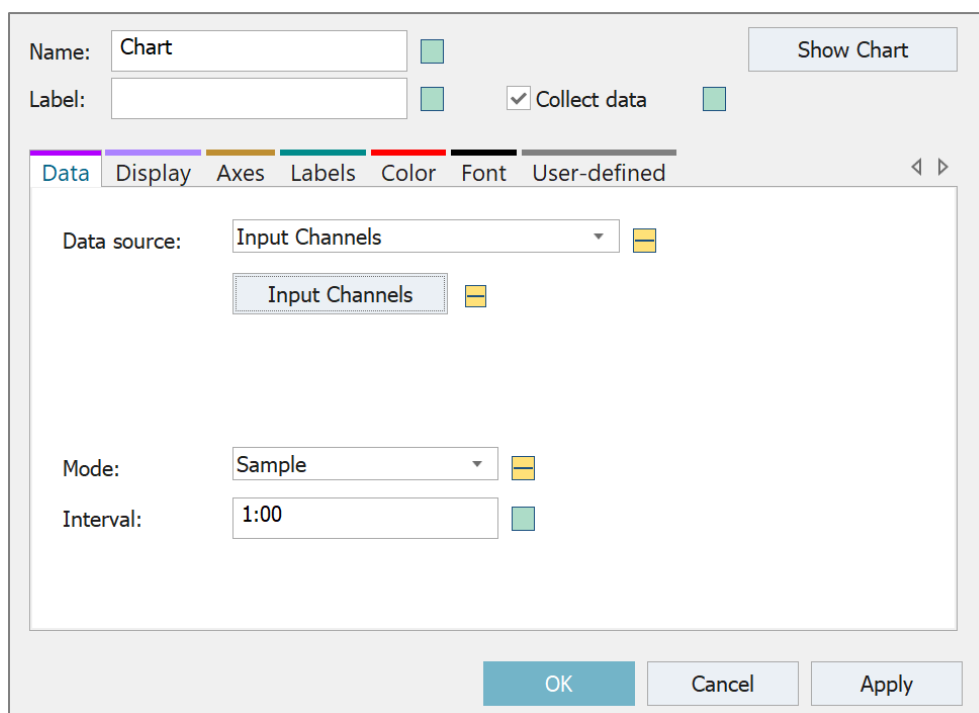
Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 39 Nastavení výrobního kalendáře pro ML_A

V případě, kdy je nutné změnit chování jednotlivých objektů, lze vložit objekt pro psaní kódů v programovacím jazyce SimTalk do položky *method* a tu následně přiřadit k zásobníkům, dopravníkům, transportní technice a pozemní komunikaci včetně sensorů. V celém modelu jsou použité *methody* pro správné třídění výrobků, k informování o transportní technice a o další cílové destinaci.

Display je zobrazovací jednotka, která umožňuje zobrazit veličinu a aktualizovat tuto hodnotu v definovaném intervalu. V modelu je tento objekt využit pro sledování skladových zásob na logistických plochách v režimu *sample* s intervalem 1:00. Tato hodnota se aktualizuje každou minutu simulačního času.

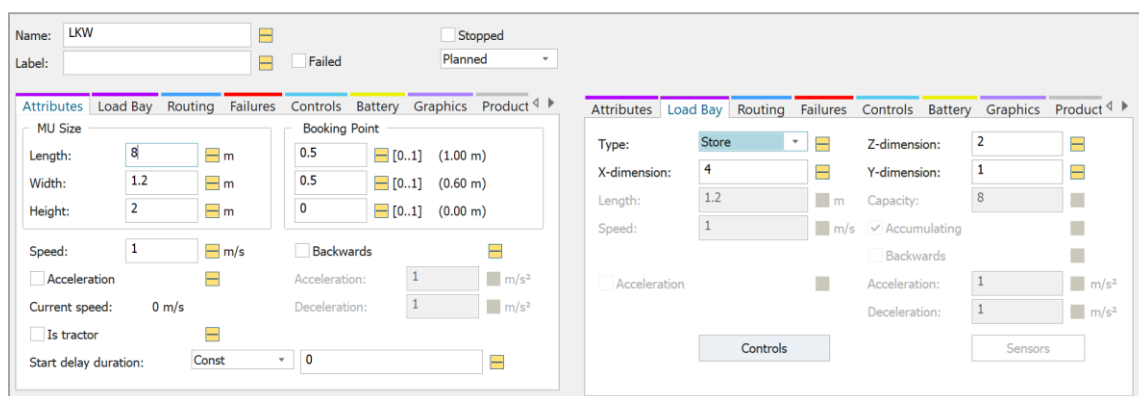
Pomocí objektu s názvem *Chart* je možné nastavit grafické výstupy sledovaných parametrů. Jedním z nich je sledování počtu rozpracovaných výrobků v meziskladu mezi regiony podle typů, aby bylo možné identifikovat, zda jsou k dispozici vždy minimální skladové zásoby pro správný chod a vzájemnou výměnu sortimentu. Na obrázku 40 je znázorněné detailní nastavení grafu pro sledování počtu výrobků na skladě v časovém období.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 40 Nastavení objektu *Chart* pro vykreslení dat

Transporter je mobilní jednotka, pomocí které lze přepravovat výrobky mezi *TransferStation*. Jako vstupní parametry pro tyto jednotky jsou rozměry, kapacita nákladní plochy, rychlost a požadavek na orientaci v provozu, který je řízen sensory a příkazy psané v jazyce SimTalk v objektu *method*. Na obrázku 41 je detail nastavení rozměrů a kapacit nákladních vozidel pro přepravu výrobků mezi regiony. Rozměry jsou přizpůsobené k zajištění přepravních kapacit na osm výrobků pro jedno nákladní vozidlo. Rychlost je upravena na konstantní hodnotu 1 m/s pro všechna nákladní vozidla. Vzdálenost mezi regiony je upravena tak, aby cesta z jednoho regionu do druhého trvala reálných 130 minut. V záložce *routing* je aktivní automatické navádění po dopravních komunikacích, aby bylo možné měnit cíle dle potřeby během jízdy.

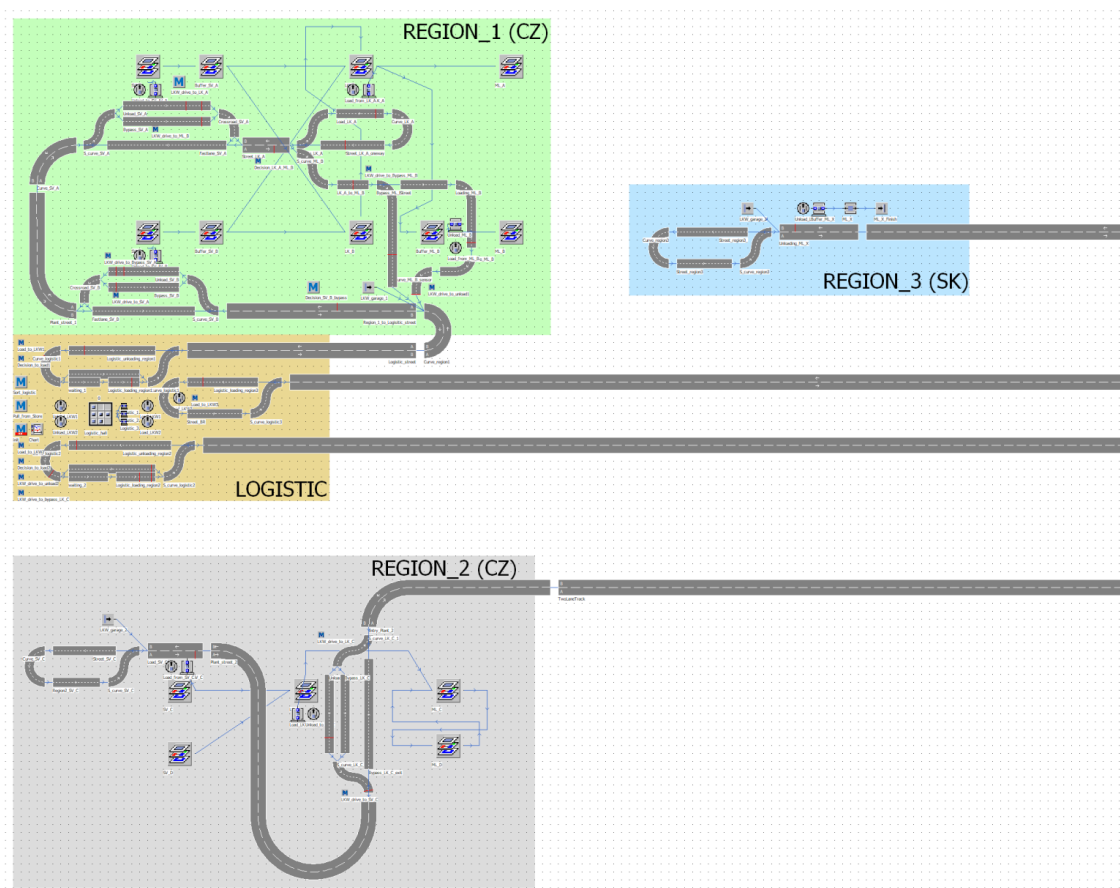


Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 41 Nastavení rozměrů a kapacit nákladní vozidel

Předměty, které lze přepravovat na dopravnících, mobilních jednotkách a zpracovávat na pracovištích jsou *Entity*. Ve výchozím stavu se jedná o přepravky, které jsou v modelu přetransformovány na jednotlivé stavy vývoje výroby vozů, jak již bylo představeno v kapitole 3 na obrázku 21. Model obsahuje pro každý výrobek šest unikátních stavů. Při objemu dvanácti různých výrobků je vytvořeno celkem sedmdesát dva různých stavů pro jednotlivé výrobky, aby simulace vypadala co nejreálněji skutečnému výrobnímu toku. Při zastavení simulace lze snadno vyčíst výrobky v rozpracovanosti, stavy jednotlivých výrobků a očekávané nutné operace pro dokončení výrobků. Pro snadnější simulaci je definován rozměr všech výrobků na stejnou velikost. Vychází se z předpokladu, že výrobky jsou umístěné na paletách a rámech, které se pohybují po dopravnících a výrobních linkách a jejich rozměr je navržen dle největšího rozměru výrobku.

Dle schémat výrobního toku, zadaných výrobních kapacit, velikostí zásobníků a logistických ploch, doby trvání průjezdů, počtu pracovních pozic mezi jednotlivými pracovišti a směnných režimů, byl vytvořen finální model v programu Tecnomatix Plant Simulation s cílem dodržet všechny vstupní parametry. Tvary výrobních linek a způsob uspořádání pracovišť jsou zcela náhodné a pro simulace nedůležité. Hlavní zásadou je dodržení jejich délek s ohledem na velikost výrobků a počty nutných pozic na dopravnících, včetně doby trvání průjezdů. Na obrázku 42 je zobrazen finální a zkompletovaný výrobní závod pro zrealizování všech simulačních experimentů a jejich vyhodnocení.



Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Obr. 42 Model výrobního provozu v Plant Simulation

Z důvodu velké komplexnosti výrobního toku a velkých nároků na simulační prostředí je nutné nastavit omezení pro průběh simulace. V nastavení simulačního modelu je nutné rozšířit maximální hodnotu řetězových úkonů a maximální hodnotu podmíněných *method* na hodnotu vyšší než 1 000 000 iterací k zajištění plynulého chodu simulace výrobního toku.

4.4 Vyhodnocení dle vstupních dat

Celý model virtuální továrny na výrobu vozidel je složen z více než 370 objektů popsaných v podkapitole 4.3, které se řídí individuálně podle vstupních objektů nebo sensorů naprogramovaných v SimTalk, které přenáší informace do mobilních jednotek. Každou vteřinou se provede několik výpočetních operací o vhodnosti výrobního toku, přepočítávání a přeorganizování množství výrobků v zásobnících, na skladech, naložené na nákladních vozidlech s přiřazeným cílem trasy a s návazností na kontrolu výrobních kalendářů s informací o výrobních přestávkách a pracovních a nepracovních dnech.

Během simulace lze pozorovat barevné stavy indikátorů u jednotlivých objektů, které značí informaci o aktuálním procesu. Všechny možné stavy jsou uvedené v tabulce 9 včetně popisů, co v daný okamžik probíhá na pracovišti.

Tab. 9 Význam stavů indikátorů pracovišť

barva indikátoru	grafické zobrazení	význam
zelená		objekt je v činnosti a zpracovává vstupní výrobek
hnědá		objekt se nastavuje nebo přestavuje pro další operaci
šedá		objekt je v nečinnosti a čeká na další výrobek
žlutá		objekt je blokován z důvodu plného následného objektu
fialová		objekt se zapíná nebo vypíná
červená		objekt má neplánovanou poruchu
růžová		objekt je pozastaven
modrá		objekt je v nečinnosti a má plánovanou přestávku
světle modrá		objekt je v nečinnosti a má neplánovanou přestávku

Zdroj: vlastní zpracování na základě nastavení simulace

Po dokončení simulace dle nastavených vstupních parametrů z podkapitoly 4.1 byly získány vytíženosti jednotlivých provozů, využití kapacit zásobníků a logistických ploch a počty vyrobených výrobků podle typů. Simulace definovaného časového období o délce 365 dní při zrychleném chodu trvala na použitém zařízení s HW parametry dle kapitoly 3.3 celkem 14 hodin.

Podle počáteční premisy s prázdným výrobním tokem, který se během prvních směn musí naplnit, je možné vyrobit na jednotlivých montážních linkách objemy uvedené v tabulce 10, včetně porovnání a rozdílu vůči předepsanému plánu.

Tab. 10 Vyrobené roční objemy

montážní linka	model	plánovaný objem [ks]	vyrobený objem [ks]	Rozdíl [ks]
ML_A	Model_A1	254 850	255 157	+307
	Model_A2	52 000	52 063	+63
	Model_A3	28 120	28 154	+34
Σ		334 970	335 374	+404
ML_B	Model_B1	155 400	155 447	+47
	Model_B2	58 700	58 718	+18
	Model_B3	40 250	40 262	+12
	Model_B4	58 150	58 167	+17
Σ		312 500	312 594	+94
ML_C	Model_C1	105 400	105 409	+9
	Model_C2	59 150	59 153	+3
	Model_D2	60 800	60 743	-57
Σ		225 350	225 305	-45
ML_D	Model_D1	85 200	85 208	+8
	Model_D2	28 900	28 960	+60
Σ		114 100	114 168	+68
ML_X	Model_C1	0	0	0
Σ (bez ML_X)		986 920	987 441	+521
Σ všech ML		986 920	987 441	+521

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Simulací byla potvrzena možnost vyrobit požadované objemy dle poptávky a vyexpedovat je do dealerských sítí. Při využití maximálních kapacit úzkého místa

lze vyrobit a vyexpedovat o 521 více výrobků nebo tyto objemy vyrobit na sklad a uchovat si je k vykrytí prostožů nebo náhlé zvýšení poptávky.

V tabulce 11 je shrnuta využitelnost jednotlivých pracovišť vyčtená po ukončení simulace z Plant Simulation. Cílem je využít všechny zdroje personálu a celkové denní kapacity a vyrobit požadovaný objem celého sortimentu výrobků. V případě, že je nutné dodržet roční objem výrobků, není možné využít volné kapacity v lakovnách a ve svařovnách k nadvýrobě dalších modelů a ty nechat vyrobit v jiném regionu na montážní lince ML_X, která má k dispozici volné výrobní kapacity. Společnost, která vlastní výrobní linku ML_X, není součástí společnosti vlastníci provozy v regionu 1 a regionu 2 a z tohoto důvodu je vřdělsek na výrobku o 50 % nižší, než kdyby se vyrobil v regionu 1 nebo 2. Snížený zisk za model zahrnuje rovněž náklady na přepravu, včetně nákladů na zabalení výrobků k přepravě a provizi za kooperaci při výrobě požadovaných výrobků. Denní kapacita montážní linky je 0, jelikož nebyla dle vstupních parametrů poptána k výrobě.

Tab. 11 Využitelnost jednotlivých provozů

provoz	denní kapacita [výrobků/den]	využitelnost kapacity [%]	využitá Ødenní kapacita [výrobků/den]
SV_A	1 380	98,55%	1 360
SV_B	1 270	99,86%	1 268
SV_C	780	75,76%	591
SV_D	680	92,31%	628
Σ	4 110	93,59%	3 847
LK_A	2 220	92,39%	2 051
LK_B	700	99,14%	694
LK_C	980	99,91%	979
Σ	3 900	95,49%	3 724
ML_A	1 360	99,82%	1 357
ML_B	1 270	99,73%	1 266
ML_C	810	99,68%	807
ML_D	410	99,76%	409
ML_X	0	0%	0
Σ	3 850	99,75%	3 839

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Za předpokladu, že by se všechny vyrobené výrobky v daném roce prodaly, dosáhla by společnost zisku z prodeje ve výši 3 533 553 490 Kč. Za nevyužití všech zdrojů nejsou společnosti vráceny vynaložené finance. Celkový zisk společnosti proto vychází jen ze zisku z prodaných výrobků. Přehled příjmů pro společnost z prodeje výrobků je uveden v tabulce 12.

Tab. 12 Roční zisk za prodané výrobky

montážní linka	model	zisk za model [Kč/ks]	vyrobený objem [ks]	zisk za výrobky [Kč]
ML_A	Model_A1	4 350	255 157	1 109 932 950
	Model_A2	1 100	52 063	57 269 300
	Model_A3	1 940	28 154	54 618 760
Σ		-	335 374	1 221 821 010
ML_B	Model_B1	1 580	155 447	245 606 260
	Model_B2	1 760	58 718	103 343 680
	Model_B3	2 110	40 262	84 952 820
	Model_B4	3 680	58 167	214 054 560
Σ		-	312 594	647 957 320
ML_C	Model_C1	4 530	105 409	477 502 770
	Model_C2	1 020	59 153	60 336 060
	Model_D2	6 710	60 743	407 585 530
Σ		-	225 305	945 424 360
ML_D	Model_D1	6 150	85 208	524 029 200
	Model_D2	6 710	28 960	194 321 600
Σ		-	114 168	718 350 800
ML_X	Model_C1	2 270	0	0
Σ všech ML		-	987 441	3 533 553 490

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Na základě těchto výsledků byly definovány varianty pro další simulace k porovnání vhodnosti navržených výrobních scénářů, které jsou rozepsány detailně v podkapitolách 4.5, 4.6 a 4.7.

4.5 Simulace s kooperací s jinou společností

Nevyužité výrobní kapacity se v první variantě naplní modelem s označením C1, který má v porovnání s modelem C2 o 3 510 Kč vyšší zisk za prodaný kus a je jako jediný vhodný pro montážní linku ML_X, jejíž denní kapacita je 174 výrobků v 15 směnném režimu. Svařování tohoto modelu probíhá v 18 směnném režimu v regionu 2 a lakování v 17 směnném režimu v regionu 1.

Jediná změna oproti výchozímu modelu je navýšení objemů modelu C1 ve svařovně k plnému vytížení všech lakoven a zahájení expedice do kooperující společnosti za nižší zisk s cílem vyrobit, v porovnání se vstupními požadavky, více výrobků a využít zdroje personálu k dosažení plného výkonu provozů. V tabulce 13 jsou výsledky po ukončení simulace včetně porovnání s plánovaným objemem dle vstupních hodnot.

Tab. 13 Vyrobené roční objemy s kooperací s jinou společností

montážní linka	model	plánovaný objem [ks]	vyrobený objem [ks]	Rozdíl [ks]
ML_A	Model_A1	254 850	254 889	+39
	Model_A2	52 000	52 038	+38
	Model_A3	28 120	28 160	+40
Σ		334 970	335 087	+117
ML_B	Model_B1	155 400	155 479	+79
	Model_B2	58 700	58 733	+33
	Model_B3	40 250	40 261	+11
	Model_B4	58 150	58 196	+46
Σ		312 500	312 669	+169
ML_C	Model_C1	105 400	105 419	+19
	Model_C2	59 150	59 151	+1
	Model_D2	60 800	60 821	+21
Σ		225 350	225 391	+41
ML_D	Model_D1	85 200	85 331	+131
	Model_D2	28 900	28 918	+18
Σ		114 100	114 249	+149
ML_X	Model_C1	0	35 231	+35 231
Σ (bez ML_X)		986 920	987 396	+476
Σ všech ML		986 920	1 022 627	+35 707

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Pomocí nadvýroby nad požadovaný plánovaný objem je možné vytížit jednotlivé lakovací a montážní provozy na téměř 99 % celkové kapacity. Nepatrné nevytížení je způsobené velkou komplexitou ve výrobním toku, kde přes sortimentový mix v lakovnách a v různých směnných režimech docházelo k rychlejšímu naplnění zásobníků a pomalejšímu odběru na nákladní vozidla.

Z teoretického hlediska není možné urychlit nakládku výrobků. Navýšení kapacity zásobníků není pro tuto variantu vhodné. Celý průběh simulace je z velké části plynulý a konstantní. K zaplnění systému dochází zejména při rozdílném výrobním kalendáři, který je mezi regiony 1 a 2 vůči kooperační společnosti, která sídlí v jiném státě s jiným rozložením státních svátků.

Úzkým místem se stávají lakovny a jsou podle výsledků simulace z 98,89 % využité. Vyhodnocení využitelnosti podle předem nastavených parametrů je znázorněné v tabulce 14.

Tab. 14 Využitelnost jednotlivých provozů s kooperací s jinou společností

provoz	denní kapacita [výrobků/den]	využitelnost kapacity [%]	využitá Ødenní kapacita [výrobků/den]
SV_A	1 380	98,55%	1 360
SV_B	1 270	99,86%	1 268
SV_C	780	91,95%	717
SV_D	680	92,38%	628
Σ	4 110	96,68	3 973
LK_A	2 220	98,46%	2 186
LK_B	700	98,93%	692
LK_C	980	99,86%	979
Σ	3 900	98,89%	3 857
ML_A	1 360	99,79%	1 357
ML_B	1 270	99,69%	1 266
ML_C	810	99,56%	806
ML_D	410	99,76%	409
ML_X	174	87,28%	152
Σ	4 024	99,17%	3 990

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Dle očekávání je i rovněž vyšší zisk za prodané výrobky, jelikož se využila téměř maximální kapacita lakoven. Přehled vyrobených objemů a příjmů za prodané výrobky pro tuto variantu je uveden v tabulce 15.

Tab. 15 Roční zisk za prodané výrobky s kooperací s jinou společností

montážní linka	model	zisk za model [Kč/ks]	vyrobený objem [ks]	zisk za výrobky [Kč]
ML_A	Model_A1	4 350	254 889	1 108 767 150
	Model_A2	1 100	52 038	57 241 800
	Model_A3	1 940	28 160	54 630 400
Σ		-	335 087	1 220 639 350
ML_B	Model_B1	1 580	155 479	245 656 820
	Model_B2	1 760	58 733	103 370 080
	Model_B3	2 110	40 261	84 950 710
	Model_B4	3 680	58 196	214 161 280
Σ		-	312 669	648 138 890
ML_C	Model_C1	4 530	105 419	477 548 070
	Model_C2	1 020	59 151	60 334 020
	Model_D2	6 710	60 821	408 108 910
Σ		-	225 391	945 991 000
ML_D	Model_D1	6 150	85 331	524 785 650
	Model_D2	6 710	28 918	194 039 780
Σ		-	114 249	718 825 430
ML_X	Model_C1	2 270	35 231	79 974 370
Σ všech ML		-	1 022 627	3 613 569 040

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

V případě, že by se zvýšila poptávka po výrobcích, je možné zapojit i kooperující společnost k uspokojení požadavků zákazníků. Pro společnost je mnohem důležitější dodat požadovaný výrobek do dealerských sítí i za cenu nižšího výtěžku na daném výrobku. Celkový zisk pro společnost je v této variantě 3 613 569 040 Kč a s porovnáním vůči výchozí situaci o 80 015 550 Kč vyšší. Předpoklad je, že se všechny výrobky v daném období prodají.

4.6 Simulace se změnou fondu pracovní doby

Cílem druhé varianty je vyrobit dle vstupních parametrů jen požadovaný objem v období jednoho roku a maximálně využít výrobní kapacity všech provozů s možností úpravy doby pracovního fondu. Podle výsledků z první výchozí simulace je lakovna LK_A provoz s nejnižší hodnotou vytížení.

Návrh je zejména změna směnného režimu lakovny LK_A z 17 směnného režimu na 16 směnný režim. Podle tabulky 6 v podkapitole 4.1 je úspora změny režimu ze 17 směnného na 16 směnný za rok celkem 7 416 400 Kč. Očekáváno je vyšší využití kapacit lakoven a úspory vzhledem ke změně směnného režimu.

Výsledky této simulace jsou rozepsány v tabulce 16, kde se potvrdila možnost vyrobit požadované objemy v definovaném období.

Tab. 16 Vyrobené roční objemy se změnou fondu pracovní doby

montážní linka	model	plánovaný objem [ks]	vyrobený objem [ks]	Rozdíl [ks]
ML_A	Model_A1	254 850	254 992	+142
	Model_A2	52 000	52 081	+81
	Model_A3	28 120	28199	+79
Σ		334 970	335 272	+302
ML_B	Model_B1	155 400	155 416	+16
	Model_B2	58 700	58 706	+6
	Model_B3	40 250	40 254	+4
	Model_B4	58 150	58 156	+6
Σ		312 500	312 532	+32
ML_C	Model_C1	105 400	105 406	+6
	Model_C2	59 150	59 151	+1
	Model_D2	60 800	60 816	+16
Σ		225 350	225 373	+23
ML_D	Model_D1	85 200	85 202	+2
	Model_D2	28 900	28 886	-14
Σ		114 100	114 088	-12
ML_X	Model_C1	0	0	0
Σ (bez ML_X)		986 920	987 265	+345
Σ všech ML		986 920	987 265	+345

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Z pohledu využitelnosti byly získány mnohem vyšší hodnoty dle očekávání. V tabulce 17 je vyčíslena využitelnost kapacit jednotlivých provozů. Vzhledem ke změně směnného režimu v lakovně LK_A je v porovnání s výchozím modelem využitelnost o 3,85 % vyšší a využitá průměrná denní kapacita o 147 výrobků vyšší. Zbylé 0,64 % do plného využití kapacit lakoven slouží jako rezerva k případnému vykrytí poruch nebo je možné omezit personální zdroje, které jsou pro tento výkon nutné. Vytížení na 100 % není možné z důvodu nutnosti naplnění výrobního toku přibližně po dobu dvou směn. Denní kapacita montážní linky ML_X je rovna 0, jelikož nebyla dle premis poptána k výrobě.

Tab. 17 Využitelnost jednotlivých provozů se změnou fondu pracovní doby

provoz	denní kapacita [výrobků/den]	využitelnost kapacity [%]	využitá Ødenní kapacita [výrobků/den]
SV_A	1 380	98,56%	1 360
SV_B	1 270	99,84%	1 268
SV_C	780	75,74%	591
SV_D	680	92,31%	628
Σ	4 110	93,59%	3 847
LK_A	2 220	99,02%	2 198
LK_B	700	99,64%	697
LK_C	980	99,87%	979
Σ	3 900	99,34%	3 874
ML_A	1 360	99,79%	1 357
ML_B	1 270	99,71%	1 266
ML_C	810	99,71%	807
ML_D	410	99,69%	409
ML_X	0	0%	0
Σ	3 850	99,74%	3 839

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Změnou směnného režimu společnost uspořila za celý rok celkem 7 416 400 Kč na personálních nákladech a s redukováním personálu splnila i výrobní plán poptávaných výrobků.

Zisk z prodeje všech výrobků za rok je ve výši 3 532 756 140 Kč a je znázorněn v detailu po jednotlivých modelech v tabulce 18.

Tab. 18 Roční zisk za prodané výrobky se změnou fondu pracovní doby

montážní linka	model	zisk za model [Kč/ks]	vyrobený objem [ks]	zisk za výrobky [Kč]
ML_A	Model_A1	4 350	254 992	1 109 215 200
	Model_A2	1 100	52 081	57 289 100
	Model_A3	1 940	28199	54 706 060
Σ		-	335 272	1 221 210 360
ML_B	Model_B1	1 580	155 416	245 557 280
	Model_B2	1 760	58 706	103 322 560
	Model_B3	2 110	40 254	84 935 940
	Model_B4	3 680	58 156	214 014 080
Σ		-	312 532	647 829 860
ML_C	Model_C1	4 530	105 406	477 489 180
	Model_C2	1 020	59 151	60 334 020
	Model_D2	6 710	60 816	408 075 360
Σ		-	225 373	945 898 560
ML_D	Model_D1	6 150	85 202	523 992 300
	Model_D2	6 710	28 886	193 825 060
Σ		-	114 088	717 817 360
ML_X	Model_C1	2 270	0	0
Σ všech ML		-	987 265	3 532 756 140

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Celkové zhodnocení zvolené varianty je pozitivní. Společnost za daný rok uspořila výdaje ve výši 7 416 400 Kč za nezrealizované 17. směny v lakovně LK_A a obdržela čistý zisk z prodeje výrobků ve výši 3 532 756 140 Kč. V porovnání s výchozí simulací je zisk z prodaných výrobků o 797 350 Kč nižší, ale poptávka po jednotlivých výrobcích byla splněna. Přesto je tento návrh ekonomicky výhodnější z důvodu úspory nákladů při změně směnného režimu. Společnost může tyto úspory investovat do rozvoje kapacit. V reálném prostředí lze dosáhnout stejných výsledků objemů vyrobených výrobků za předpokladu intenzivnějšího operativního řízení, které není v takto velké míře integrované do simulačního prostředí.

4.7 Simulace se změnou fondu pracovní doby a kooperací

Pro třetí variantu byla zvolena strategie využití výrobní kapacity ve všech provozech na 100 % s ohledem na zrušení výrobních směn v provozech, které nejsou plně vytížené. Podle analýzy úzkého místa v podkapitole 4.1 je nejužším místem montážní linka. Cílem je vyrobit co největší roční objem s plným vytížením lakoven a montáží. Změna oproti simulaci podle vstupních dat je změna pracovního fondu v lakovně LK_B z 16 směnného režimu na 15 směnný režim. Je očekáváno, že modely, které lze vyrobit jen v lakovně LK_B, budou olakovány ve zkráceném časovém fondu, ostatní modely s flexibilitou lakování budou přesunuty do lakovny LK_A. Montážní linka ML_A je jediný provoz, který nemá možnost flexibilně odebírat všechny modely z jedné lakovny. Model s označením A1 se lakuje jen v lakovně LK_A a model s označením A2 a A3 se lakují jen v lakovně LK_B. Je očekáváno, že týdenní objem modelů A2 a A3 pro montážní linku ML_A musí být vyroben lakovnou LK_B během 15 směn.

Úspora změny směnného režimu je podle tabulky 6 z podkapitoly 4.1 vyčíslena na 34 800 Kč za každou nezrealizovanou 16. směnu. Vzhledem k tomu, že 16 směnný režim má v období července a srpna plánované odstávky, budou se úspory vyhodnocovat podle počtu výrobních týdnů v daném roce v porovnání s 15 směnným režimem.

Pro tuto variantu je nastavena velikost zásobníku před montáží ML_A na hodnotu 1 000 pozic a stejná velikost se nastaví i u zásobníku surových karosérií před lakovnou. Po skončení simulace se vyhodnotí maximální obsazenost a počet potřebných pozic, aby byla garantována možnost vytvořit výrobní sekvence dle definovaného pořadí. Po ukončení simulace se tyto parametry nastaví do zásobníků a simulace se spustí znovu pro znovu ověření funkčnosti.

Podle tabulky 7 v podkapitole 4.1 je investice na jednu pozici v zásobníku ve výši 20 000 Kč. Požadované pozice se vyhodnotí podle potřeby se snahou navrhnout optimální množství nových pozic v případě, že budou nutné. Navrhovaný počet nových pozic bude včetně rezervy na prostoje až do výše 2 hodin na provozu. Veškeré prostoje s délkou trvání do 2 hodin bude možné odfiltrovat pomocí této rezervy. V případě, že by došlo k poruše o délce trvání více než 2 hodin, budou ovlivněna i předchozí, případně následující pracoviště.

Dle analýzy úzkého místa je volná kapacita lakoven stále dostačující a nevyužitá. K plnému využití se i v tomto experimentu vytěží volné kapacity lakoven k výrobě výrobků pro montážní linku ML_X, která v původním stavu nebyla využita a poptána k výrobě modelů C1.

Výsledky třetího experimentu opět potvrdily možnost vyrobit veškeré požadované objemy v definovaném období a zároveň vyrobit i model C1 v kooperující společnosti za nižší zisk. Celkové plánované a vyrobené objemy jsou detailně zpracovány v tabulce 19 včetně vyrobených objemů nad plán na montážní lince s označením ML_X.

Tab. 19 Vyrobené roční objemy se změnou fondu pracovní doby a kooperací

montážní linka	model	plánovaný objem [ks]	vyrobený objem [ks]	Rozdíl [ks]
ML_A	Model_A1	254 850	255 026	+176
	Model_A2	52 000	52 102	+102
	Model_A3	28 120	28 178	+58
Σ		334 970	335 306	+336
ML_B	Model_B1	155 400	155 422	+22
	Model_B2	58 700	58 724	+24
	Model_B3	40 250	40 266	+16
	Model_B4	58 150	58 213	+63
Σ		312 500	312 625	+125
ML_C	Model_C1	105 400	105 257	-143
	Model_C2	59 150	59 152	+2
	Model_D2	60 800	60 828	+28
Σ		225 350	225 237	-113
ML_D	Model_D1	85 200	85 314	+114
	Model_D2	28 900	28 912	+12
Σ		114 100	114 226	+126
ML_X	Model_C1	0	32 927	+32 927
Σ (bez ML_X)		986 920	987 394	+474
Σ všech ML		986 920	1 020 321	+33 401

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Cílem simulace byla maximalizace využitelnosti jednotlivých provozů v regionech s provozy ve vlastnictví výchozí společnosti s cílem zvýšit zisk z prodaných výrobků a využít kooperující společnost do plných kapacit vlastních úzkých míst. V tabulce 20 je vyčíslena využitelnost všech provozů a jejich průměrná využitá denní kapacita.

Tab. 20 Využitelnost jednotlivých provozů se změnou fondu pracovní doby a kooperací

provoz	denní kapacita [výrobků/den]	využitelnost kapacity [%]	využitá Ødenní kapacita [výrobků/den]
SV_A	1 380	98,54%	1 360
SV_B	1 270	99,87%	1 268
SV_C	780	90,84%	708
SV_D	680	92,38%	628
Σ	4 110	96,47%	3 964
LK_A	2 220	99,22%	2203
LK_B	700	99,81%	698
LK_C	980	99,89%	979
Σ	3 900	99,49%	3 880
ML_A	1 360	99,80%	1 357
ML_B	1 270	99,74%	1 267
ML_C	810	99,52%	807
ML_D	410	99,81%	409
ML_X	174	81,56%	142
Σ	4 024	98,96%	3 982

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Využití výrobních kapacit proběhlo formou zrušení 16. směn v lakovně LK_B, kde společnost uspořila za každou nezrealizovanou směnu 34 800 Kč. Podle kalendáře v příloze 7 je zřejmé, že je v daném časovém období celkem 36 týdnů, kdy lze využít 16. směnu. Všech 36 směn se nevyužilo a uspořilo se takto za rok celkem 1 252 800 Kč.

Na druhou stranu bylo nutné rozšířit zásobníky Buffer_SV_A o 15 pozic a Buffer_ML_A o 185 pozic. Investice za jednu pozici v zásobnících je 20 000 Kč. Společnost musela vynaložit investice ve výši 4 000 000 Kč, aby v tomto režimu mohla spolehlivě vyrábět poptávané množství výrobků.

Roční zisk za prodané výrobky ve variantě se změnou fondu pracovní doby a kooperaci je ve výši 3 608 176 760 Kč. Oproti výchozímu stavu je tato částka o 74 623 270 Kč vyšší. Zisk je opět za předpokladu, že se všechny výrobky v daném období prodaly. Výroba u kooperující společnosti pomáhá získat další částečný zdroj k pokrytí vynaložených investic do rozšíření zásobníků pro jiný směnný režim v lakovně LK_B. V tabulce 21 je uveden souhrn zisků z prodeje výrobků.

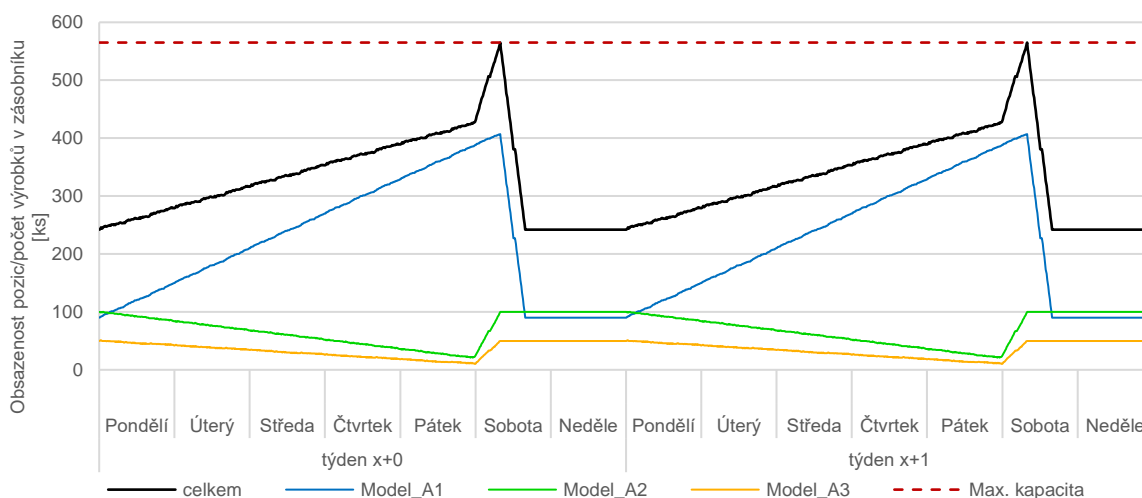
Tab. 21 Roční zisk za prodané výrobky se změnou fondu pracovní doby a kooperací

montážní linka	model	zisk za model [Kč/ks]	vyrobený objem [ks]	zisk za výrobky [Kč]
ML_A	Model_A1	4 350	255 026	1 109 363 100
	Model_A2	1 100	52 102	57 312 200
	Model_A3	1 940	28 178	54 665 320
Σ		-	335 306	1 221 340 620
ML_B	Model_B1	1 580	155 422	245 566 760
	Model_B2	1 760	58 724	103 354 240
	Model_B3	2 110	40 266	84 961 260
	Model_B4	3 680	58 213	214 223 840
Σ		-	312 625	648 106 100
ML_C	Model_C1	4 530	105 257	476 814 210
	Model_C2	1 020	59 152	60 335 040
	Model_D2	6 710	60 828	408 155 880
Σ		-	225 237	945 305 130
ML_D	Model_D1	6 150	85 314	524 681 100
	Model_D2	6 710	28 912	193 999 520
Σ		-	114 226	718 680 620
ML_X	Model_C1	2 270	32 927	74 744 290
Σ všech ML		-	1 020 321	3 608 176 760

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

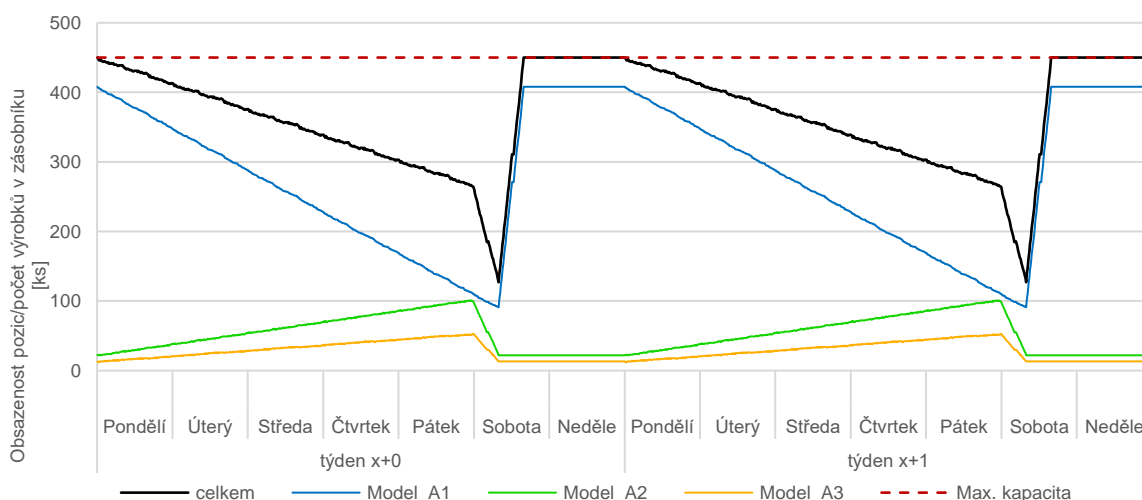
Společnost investovala celkem 4 000 000 Kč do rozšíření zásobníků Buffer_SV_A před lakovnou a rozšířila tento zásobník o 15 pozic. Buffer_ML_A byl rozšířen o 185 nových pozic k uskladnění lakovaných výrobků. Společnost uspořila 1 252 800 Kč za nezrealizované směny a zvýšila zisk s kooperací se společnostmi s cílem vyrobit o 32 927 výrobků více, za které získala celkem 74 744 290 Kč nad původní plán.

Detailní průběh využití skladovacích kapacit v rozšířených zásobnících je znázorněn na obrázku 43 pro nenalakované výrobky a na obrázku 44 pro lakované výrobky. Rozšíření těchto skladovacích kapacit zohledňuje i rezervu pro případné poruchy až do doby trvání 2 hodin na předchozím nebo následujícím provozu s ohledem na směnný režim. Zásobník Buffer_SV_A se plní rovnoměrně v 16 směnách všemi modely, kde se ale model A1 odebírá v 17 směnách a model A2 a model A3 v 15 směnách. Naopak model A1 vstupuje do Buffer_ML_A rovnoměrně v 17 směnách, model A2 a model A3 v 15 směnách a všechny modely se rovnoměrně odebírají ze zásobníku v 16 směnách.



Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Obr. 43 Průběh v zásobníku Buffer_SV_A



Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Obr. 44 Průběh v zásobníku Buffer_ML_A

5 Logistický, výrobní a ekonomický dopad navrhovaných změn

Cílem jednotlivých variant simulací bylo zvýšit využitelnost všech dílčích provozů ke zvýšení celkového zisku společnosti a pokrýt definovanou zákaznickou poptávku po výrobcích v daném roce. Podle očekávání se simulací potvrdila realizovatelnost výrobních scénářů. V každé variantě je možné splnit poptávku po jednotlivých výrobcích.

Vlivem změn směnných režimů v lakovnách bylo možné zvýšit využitelnost výrobních kapacit až o 4 % a při zahájení kooperace s další společností bylo možné zvýšit využitelnost kapacit svařoven až o 3,09 %. Změny se provedly zejména v lakovnách, kde byla velká nevyužitá denní rezerva a velký rozdíl mezi montážemi podle analýzy úzkých míst v kapitole 4. Změny směnných režimů ve svařovnách nebylo vhodné provádět z důvodu omezení kapacit zásobníků a využití výhody výroby ve stejném směnném režimu jako na konečných montážích.

Při dodržení premis uvedených v tabulce 22 pro variantu 3 je nutné vyexpedovat 32 927 rozpracovaných výrobků do jiného regionu na konečnou montáž. Tento objem výrobků modelu C1 lze zredukovat v provezech v regionu 2 a naplnit je do maximálních kapacit modelem C2, modelem D1 a modelem D2 v případě zvýšení poptávky po těchto výrobcích a využít flexibilitu mezi jednotlivými provozy přesunem modelů mezi montážními linkami. Model D1 a model D2 mají pro společnost vyšší hodnotu a celkový zisk, který by umožnil zvýšit celkový roční zisk. Veškeré změny vůči výchozímu stavu jsou vyznačeny zeleně.

Investice do rozšíření zásobníků se společnosti vrátí na základě ušetřených víkendových směn přibližně za 3,2 roku. Předpokladem je rozložení poptávky po výrobcích v podobném poměru a při počtu 36 nerealizovaných 16. směn za rok, které závisí na rozložení státních svátků v následujících letech.

Jednotlivé výsledky všech simulací jsou uvedeny v přehledové tabulce 23, kde jsou shrnuty nejdůležitější informace získané z prostředí Plant Simulation. Hodnoty jsou srovnány mezi varianty k identifikaci nejvhodnějšího výrobního režimu pro společnost, aby bylo možné uspokojit poptávku zákazníků po modelech a zároveň vyrobit požadavky s nejnižšími náklady k zvýšení zisku společnosti, případně k plánování investic do rozšíření stávajících skladovacích kapacit. Nejlepší získané výsledky ze simulace jsou vyznačeny zeleně k rychlé identifikaci v tabulce.

Tab. 22 Přehled změn směnností a kapacit variant

	Výchozí stav	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Směnné režimy v provozech				
SV_A	16S	16S	16S	16S
SV_B	16S	16S	16S	16S
SV_C	18S	18S	18S	18S
SV_D	18S	18S	18S	18S
LK_A	17S	17S	16S	17S
LK_B	16S	16S	16S	15S
LK_C	18S	18S	18S	18S
ML_A	16S	16S	16S	16S
ML_B	16S	16S	16S	16S
ML_C	18S	18S	18S	18S
ML_D	18S	18S	18S	18S
ML_X	-	15S	-	15S
Velikosti zásobníků a skladovacích prostor (počet dostupných skladovacích pozic)				
Buffer_SV_A	550	550	550	565
Buffer_SV_B	440	440	440	440
Buffer_SV_C	160	160	160	160
Buffer_SV_D	272	272	272	272
Logistic_hall	680	680	680	680
Buffer_ML_A	265	265	265	450
Buffer_ML_B	330	330	330	330
Buffer_ML_C	180	180	180	180
Buffer_ML_D				
Buffer_ML_X	1 000	1 000	1 000	1 000
Load_SV_A	50	50	50	50
Load_SV_B	40	40	40	40
Unload_SV_C	110	110	110	110
Unload_LK_A	40	40	40	40
Load_LK_C	200	200	200	200
Unload_ML_B	12	12	12	12

Zdroj: vlastní zpracování na základě vstupních dat

Tab. 23 Porovnání výsledků variant

	Výchozí stav	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
--	--------------	------------	------------	------------

Počet vyrobených modelů na montážních linkách (za simulované období – rok 2021)

ML_A	335 374 ks	335 087 ks	335 272 ks	335 306 ks
ML_B	312 594 ks	312 669 ks	312 532 ks	312 625 ks
ML_C	225 305 ks	225 391 ks	225 373 ks	225 237 ks
ML_D	114 168 ks	114 249 ks	114 088 ks	114 226 ks
ML_X	-	35 231 ks	-	32 927 ks
Σ (bez ML_X)	987 441 ks	987 396 ks	987 265 ks	987 394 ks
Σ	987 441 ks	1 022 627 ks	987 265 ks	1 020 321 ks

Zisk z prodaných modelů (za simulované období – rok 2021)

ML_A	1 221 821 010 Kč	1 220 639 350 Kč	1 221 210 360 Kč	1 221 340 620 Kč
ML_B	647 957 320 Kč	648 138 890 Kč	647 829 860 Kč	648 106 100 Kč
ML_C	945 424 360 Kč	945 991 000 Kč	945 898 560 Kč	945 305 130 Kč
ML_D	718 350 800 Kč	718 825 430 Kč	717 817 360 Kč	718 680 620 Kč
ML_X	-	79 974 370 Kč	-	74 744 290 Kč
Σ (bez ML_X)	3 533 553 490 Kč	3 533 594 670 Kč	3 532 756 140 Kč	3 533 432 470 Kč
Σ	3 533 553 490 Kč	3 613 569 040 Kč	3 532 756 140 Kč	3 608 176 760 Kč

Využitelnosti celých provozů (za simulované období – rok 2021)

SV	93,59%	96,68%	93,59%	96,47%
LK	95,49%	98,89%	99,34%	99,49%
ML	99,75%	99,17%	99,74%	98,96%
ML (bez ML_X)	99,75%	99,71%	99,74%	99,75%

Náklady do rozšíření provozu (v porovnání s výchozím stavem – jednorázová investice)

Buffer_SV_A	-	-	-	300 000 Kč
Buffer_ML_A	-	-	-	3 700 000 Kč
Σ	0 Kč	0 Kč	0 Kč	4 000 000 Kč

Úspory – vlivem změny směnného režimu (v porovnání s výchozím stavem – roční úspora)

16S v LK_A	-	-	7 416 400 Kč	-
15S v LK_B	-	-	-	1 252 800 Kč
Σ	0 Kč	0 Kč	7 416 400 Kč	1 252 800 Kč

Celkové zhodnocení

Příjmy	3 533 553 490 Kč	3 613 569 040 Kč	3 532 756 140 Kč	3 608 176 760 Kč
Úspory	-	-	7 416 400 Kč	1 252 800 Kč
Výdaje	0 Kč	0 Kč	0 Kč	4 000 000 Kč
Zisk	3 533 553 490 Kč	3 613 569 040 Kč	3 540 172 540 Kč	3 605 429 560 Kč

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných ze simulace

Závěr

Při zpracování této práce byl sestaven komplexní model výrobního podniku s více provozy o různých denních a týdenních kapacitách v různých směnných režimech a s umístěním v různých regionech, mezi kterými probíhala i vzájemná spolupráce k efektivnímu využití dostupných kapacit. Během sestavení virtuálního výrobního provozu z úplného začátku byly získány zkušenosti při práci s programem Plant Simulation a při psaní základních příkazů v programovacím jazyce SimTalk, které lze uplatnit i při využití simulačního prostředí v profesním životě.

Pomocí vytvořeného simulačního prostředí v Plant Simulation lze jednoduše simulovat různé výrobní scénáře, změnit směnnosti jednotlivých provozů, nastavit poměr výrobků ve svařovnách a na montážních linkách, pomocí rozšíření kódů v jazyce SimTalk nastavit výrobní tok pro výrobky a chování nákladní dopravy mezi regiony a provozy, rychlosti dopravníků a jejich denní kapacity, včetně velikosti zásobníků mezi provozy a skladovací plochy mimo hlavní výrobní tok a výrobní kalendář s ohledem na pracovní a nepracovní dny.

Po vyhodnocení výsledků simulace byly zapracovány změny s očekávaným výsledkem, který se s další simulací potvrdil. Tímto způsobem bylo možné pozorovat chod společnosti s ohledem na směnné režimy, obsazenost zásobníků a výrobních linek a navrhnout tak změny na základě dostupných informací k rozšíření skladovacích kapacit nebo úpravy směnných režimů.

Simulační model vychází z rovnoměrné a bezporuchové výroby. Pro vylepšení modelu lze zapracovat i náhodné krátkodobé a dlouhodobé poruchy a prostoje k detailnějšímu analyzování chování společnosti a využití kapacit skladovacích prostor. Při zavedení více kódů v jazyce SimTalk je možné naprogramovat i operativní řízení k nerovnoměrnému nabírání surových výrobků ze zásobníků do lakoven v závislosti na prostojích v provozech nebo obsazenosti zásobníků před konečnou montážní linkou. Aktuální simulační model tvoří sekvence výrobků na základě dostupnosti v zásobníku, v případě, že není k dispozici vhodný výrobek, zvolí si simulace další výrobek v řadě. Pro rozšíření by mohl být tento stav ošetřen i plánovaným prostojem z důvodu narušení požadované sekvence. Dále by bylo možné rozšířit simulaci o náběh nového a výběh starého výrobku v celém výrobním toku a využití nepravidelného přísunu dostupných zakázek ve svařovnách.

Seznam literatury

BANGSOW, Steffen. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. Berlin: Springer, 2010, 297 s. ISBN 978-3-662-51912-7

BANGSOW, Steffen. *Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples*. Švýcarsko: Springer, 2015. 713 s. ISBN 978-3-3191-9502-5

BANGSOW, Steffen. *Advanced simulation services* [online]. [2020-05-12]. Dostupné z: https://www.bangsow.eu/index_en.php

BANKS, Jerry.: *Principles of Simulation*. In BANKS, Jerry., ed.: *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*, 1998. John Wiley & Sons, Inc., New York. ISBN 0-471-13403-1.

DLOUHÝ, Martin, Jan FÁBRY, Martina KUNCOVÁ a Tomáš HLADÍK. *Simulace podnikových procesů*. 2., upr. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3449-8.

FÁBRY, Jan. *Matematické modelování*. Praha: Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-066-9

FÁBRY, Jan. *Modelování produkčních a logistických systémů pro prezenční a kombinovanou formu studia*. ŠAVŠ, 2019. ISBN 978-80-87042-85-4

HEŘMAN, Jan. *Řízení výroby*. Slaný: Melandrium, 2001. ISBN 8086175154

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum.: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3

JAMMERNEGG, Werner, Sebastian KUMMER a Oskar GRÜN. *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik*. Německo: Pearson Studium, 2018. 496 s. ISBN 978-3-8689-4094-7

JUROVÁ, Marie. *Výrobní procesy řízené logistikou*. Brno: BizBooks, 2013. ISBN 978-80-265-0059-9

KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 9788071793199

Lanner, *Technology Witness.io* [online]. [2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.lanner.com/en-gb/technology/witness-io-simulation-execution-web-service.html>

MAXTON, Graeme a John WORMALD. *Time for a Model Change.: Re-engineering the Global Automotive Industry*. 1. vyd. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004. 276 s. ISBN 0-521-83715-4

RÜCKER, Thomas. *Optimale Materialflusssteuerung in heterogenen Produktionssystemen*. 1. vyd. Dissertation TU Ilmenau, 2006. ISBN 978-3-8350-0536-5

SCHNEIDER, Markus. *Lean Factory Design: Gestaltungsprinzipien für die perfekte Produktion und Logistik*. Německo: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016. 304 s. ISBN 978-3-4464-4995-4

ScienceDirect, *Monte Carlo Method* [online]. [2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/monte-carlo-method>

SIEMENS, *Tecnomatix Plant Simulation: Benutzerhandbuch Version 14*, Siemens, 2017. 5721 s.

SimPlan, *SimPlan: Systemanforderungen für Tecnomatix Plant Simulation 15.0* [online]. [2020-07-05]. Dostupné z: <https://www.plant-simulation.de/produktueberblick/systemanforderungen/>

SIMPROCESS, *SIMPROCESS: Modeling and Simulation Tools* [online]. [2020-07-05]. Dostupné z: <http://simprocess.com>

SIMUL8, *SIMUL8: Process simulation software* [online]. [2020-07-05]. Dostupné z: <https://www.simul8.com>

STAŠ, David. *Organizace a řízení výroby pro prezenční a kombinovanou formu studie*. ŠAVŠ, 2017. ISBN 978-80-87042-67-0

ŠEDA, Miloš. *Modely hromadné obsluhy* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. [2019-12-30]. Dostupné z: http://web2.vslg.cz/fotogalerie/acta_logistica/2011/2_cislo/3_seda.pdf

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma výrobního procesu.....	8
Obr. 2 Schéma procesního uspořádání pracovišť	10
Obr. 3 Schéma výrobkového uspořádání pracovišť	11
Obr. 4 Hloubka detailu při plánování výroby.....	14
Obr. 5 Systém řízený tlakem	15
Obr. 6 Systém řízený tahem.....	15
Obr. 7 Agresivní kapacitní strategie	17
Obr. 8 Konzervativní kapacitní strategie.....	18
Obr. 9 Strategie maximálního využití kapacit	18
Obr. 10 Strategie Preempt of competition	19
Obr. 11 Strategie Wait and see	19
Obr. 12 Schéma ideálního výrobního toku	20
Obr. 13 Schéma modelu hromadné obsluhy	21
Obr. 14 Systém HO s jedním obslužným zařízením.....	23
Obr. 15 Systém HO s paralelní obsluhou a společnou frontou.....	23
Obr. 16 Systém HO s paralelní obsluhou a samostatnou frontou.....	24
Obr. 17 Systém HO s paralelní neidentickou obsluhou	24
Obr. 18 Systém HO se sériovým uspořádáním obslužných zařízení.....	25
Obr. 19 Uspořádání pracovišť a detailní výrobní tok	33
Obr. 20 Výrobní tok po jednotlivých modelech	34
Obr. 21 Vývoj zakázky až po finální výrobek.....	35
Obr. 22 Využité objekty v simulaci.....	40
Obr. 23 Nastavení objektu EventController	41
Obr. 24 Frame – Detail svařovny SV_C	42

Obr. 25 Využití interface v objektu Frame	42
Obr. 26 Využití interface v objektu Frame	43
Obr. 27 Detailní výpis informací z objektu Drain.....	44
Obr. 28 Nastavení procesního času objektu Station	45
Obr. 29 Nastavení přeměny výrobku v objektu AssemblyStation.....	46
Obr. 30 Přeměna výrobku v objektu AssemblyStation	47
Obr. 31 Nastavení kapacity objektu Store	47
Obr. 32 Nastavení funkcí objektu Sorter	48
Obr. 33 Seznam výrobků v požadované sekvenci.....	50
Obr. 34 Vizualizace výrobní sekvence	50
Obr. 35 Nastavení montážní linky ML_A	51
Obr. 36 Zobrazení sensorů na dopravní komunikaci.....	52
Obr. 37 Nastavení objektu TransferStation	53
Obr. 38 Nastavení směnného režimu pro ML_A	54
Obr. 39 Nastavení výrobního kalendáře pro ML_A	54
Obr. 40 Nastavení objektu Chart pro vykreslení dat.....	55
Obr. 41 Nastavení rozměrů a kapacit nákladní vozidel	56
Obr. 42 Model výrobního provozu v Plant Simulation.....	57
Obr. 43 Průběh v zásobníku Buffer_SV_A.....	72
Obr. 44 Průběh v zásobníku Buffer_ML_A.....	72

Seznam tabulek

Tab. 1 Příklady systémů hromadné obsluhy.....	22
Tab. 2 Doporučený a použitý HW a SW	31
Tab. 3 Detaily výrobních linek	32
Tab. 4 Seznam typů výrobků, požadovaný objem a zisk z prodeje	35
Tab. 5 Směnné režimy v provozech	36
Tab. 6 Úspory při změně směnných režimů	37
Tab. 7 Kapacity zásobníků a logistických ploch	38
Tab. 8 Analýza úzkého místa	39
Tab. 9 Význam stavů indikátorů pracovišť.....	58
Tab. 10 Vyrobené roční objemy	59
Tab. 11 Využitelnost jednotlivých provozů	60
Tab. 12 Roční zisk za prodané výrobky	61
Tab. 13 Vyrobené roční objemy s kooperací s jinou společností.....	62
Tab. 14 Využitelnost jednotlivých provozů s kooperací s jinou společností.....	63
Tab. 15 Roční zisk za prodané výrobky s kooperací s jinou společností.....	64
Tab. 16 Vyrobené roční objemy se změnou fondu pracovní doby.....	65
Tab. 17 Využitelnost jednotlivých provozů se změnou fondu pracovní doby.....	66
Tab. 18 Roční zisk za prodané výrobky se změnou fondu pracovní doby.....	67
Tab. 19 Vyrobené roční objemy se změnou fondu pracovní doby a kooperací	69
Tab. 20 Využitelnost jednotlivých provozů se změnou fondu pracovní doby a kooperací.....	70
Tab. 21 Roční zisk za prodané výrobky se změnou fondu pracovní doby a kooperací.....	71
Tab. 22 Přehled změn směnností a kapacit variant.....	74
Tab. 23 Porovnání výsledků variant	75

Seznam příloh

Příloha 1 Tabulka maximálních denních kapacit	83
Příloha 2 Tabulka přepočtených výrobních kapacit	84
Příloha 3 Layout výrobního provozu – provázanost pracovišť	85
Příloha 4 Layout výrobního provozu – detail po modelech	86
Příloha 5 Model výrobního provozu v Plant Simulation	87
Příloha 6 Výrobní kalendář 2021 pro 15ti směnný provoz	88
Příloha 7 Výrobní kalendář 2021 pro 16ti směnný provoz	89
Příloha 8 Výrobní kalendář 2021 pro 17ti směnný provoz	90
Příloha 9 Výrobní kalendář 2021 pro 18ti směnný provoz	91
Příloha 10 Zahraniční výrobní kalendář 2021 pro 15ti směnný provoz	92
Příloha 11 Přehled přestávek v jednotlivých provozech	93
Příloha 12 Zdrojový kód v jazyce SimTalk pro TransferStation	94

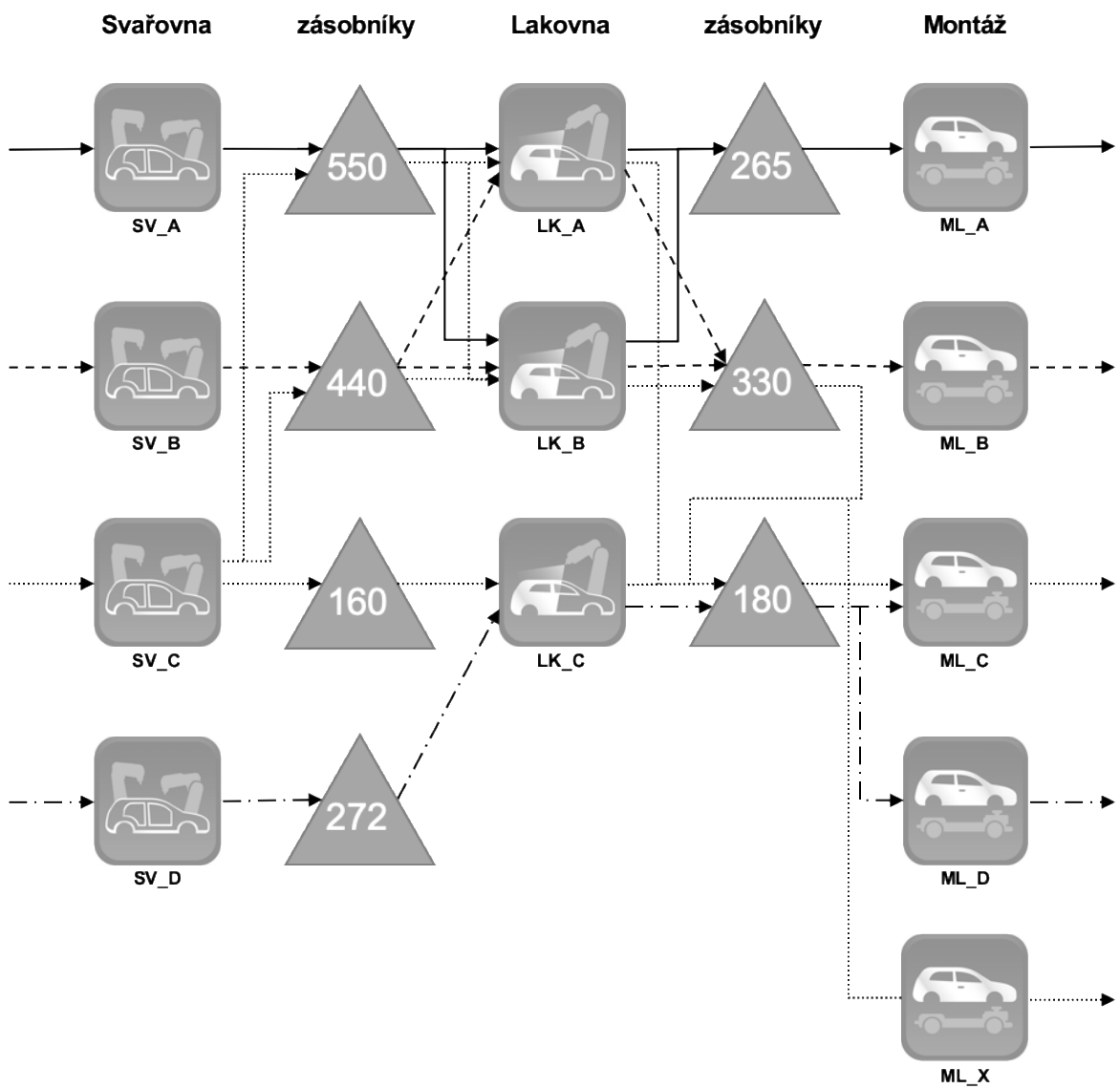
Příloha 1 Tabulka maximálních denních kapacit

Provoz	Model	Měsíc											
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
SV_A	Model_A1	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
	Model_A2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
	Model_A3	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	Max. SV_A	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380
SV_B	Model_B1	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
	Model_B2	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
	Model_B3	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Model_B4	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
	Max. SV_B	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270
SV_C	Model_C1	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780
	Model_C2	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
	Max. SV_C	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780
SV_D	Model_D1	415	415	415	415	415	415	415	415	415	415	415	415
	Model_D2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	Max. SV_D	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
LK_A	Model_A1	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
	Model_B1	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
	Model_B2	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
	Model_B3	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
	Model_B4	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
	Model_C1	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
	Model_C2	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220
Max. LK_A	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	2220	
LK_B	Model_A2	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Model_A3	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Model_B3	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Model_B4	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Model_C1	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	Max. LK_B	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
LK_C	Model_C1	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
	Model_C2	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
	Model_D1	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
	Model_D2	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
	Max. LK_C	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
ML_A	Model_A1	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320
	Model_A2	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
	Model_A3	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	Max. ML_A	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360	1360
ML_B	Model_B1	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
	Model_B2	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
	Model_B3	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Model_B4	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
	Max. ML_B	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270	1270
ML_C	Model_C1	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
	Model_C2	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
	Model_D2	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	Max. ML_C	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810	810
ML_D	Model_D1	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410
	Model_D2	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
	Max. ML_D	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410
ML_X	Model_A1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Model_D1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Model_D2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Model_C1	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174

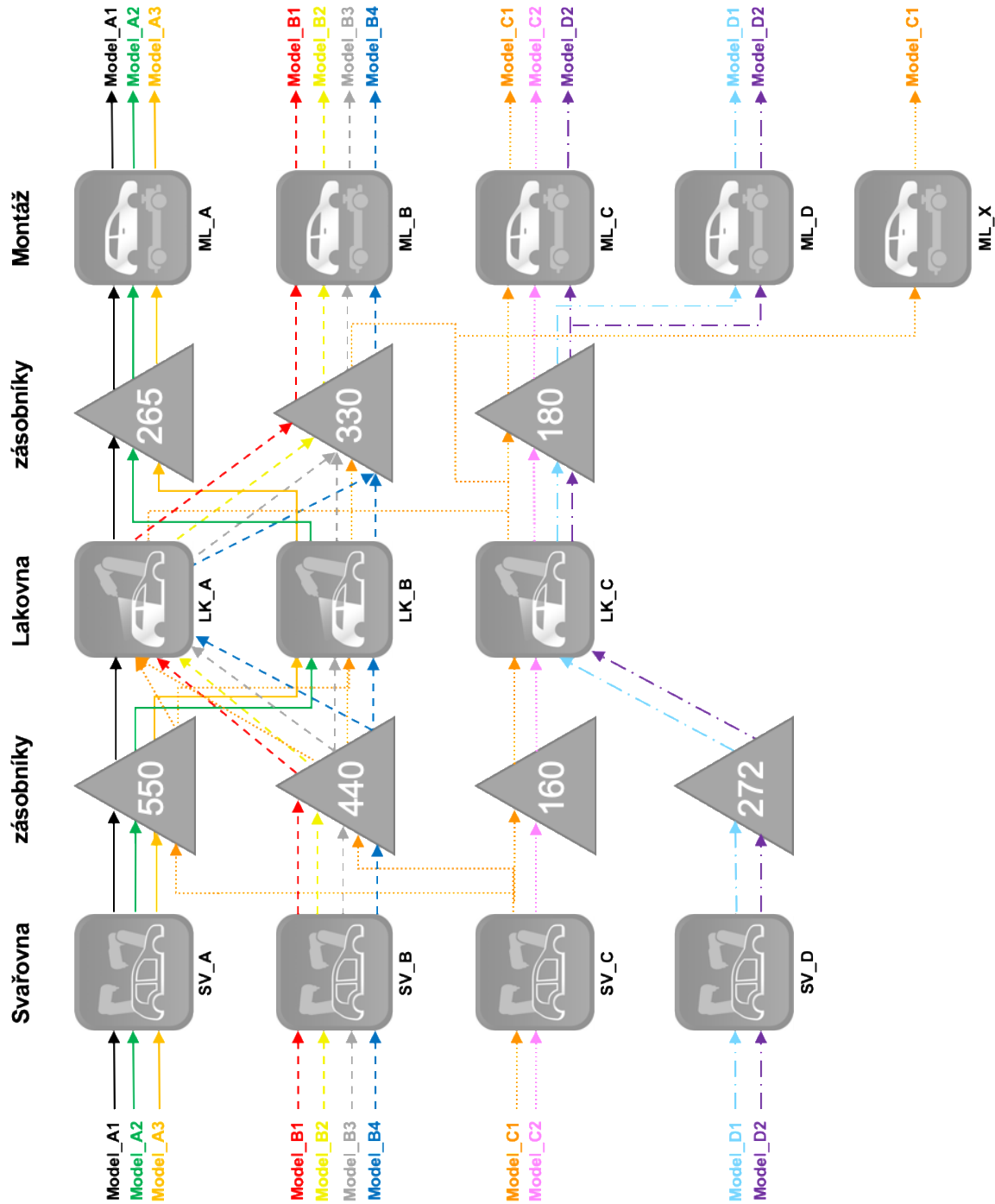
Příloha 2 Tabulka přepočtených výrobních kapacit

denní kapacita [výrobků/den]	doba trvání jednoho výrobku [sec]	doba trvání jednoho výrobku [hh:mm:ss]
2220	35,6757	00:00:35,68
1380	57,3913	00:00:57,39
1360	58,2353	00:00:58,24
1320	60,0000	00:01:00,00
1270	62,3622	00:01:02,36
1150	68,8696	00:01:08,87
1140	69,4737	00:01:09,47
980	80,8163	00:01:20,82
850	93,1765	00:01:33,18
810	97,7778	00:01:37,78
780	101,5385	00:01:41,54
700	113,1429	00:01:53,14
680	116,4706	00:01:56,47
600	132,0000	00:02:12,00
540	146,6667	00:02:26,67
480	165,0000	00:02:45,00
460	172,1739	00:02:52,17
415	190,8434	00:03:10,84
410	193,1707	00:03:13,17
400	198,0000	00:03:18,00
360	220,0000	00:03:40,00
350	226,2857	00:03:46,29
300	264,0000	00:04:24,00
270	293,3333	00:04:53,33
250	316,8000	00:05:16,80
230	344,3478	00:05:44,35
200	396,0000	00:06:36,00
174	455,1724	00:07:35,17
160	495,0000	00:08:15,00
150	528,0000	00:08:48,00
140	565,7143	00:09:25,71
120	660,0000	00:11:00,00
96	825,0000	00:13:45,00
20	3 960,0000	01:06:00,00

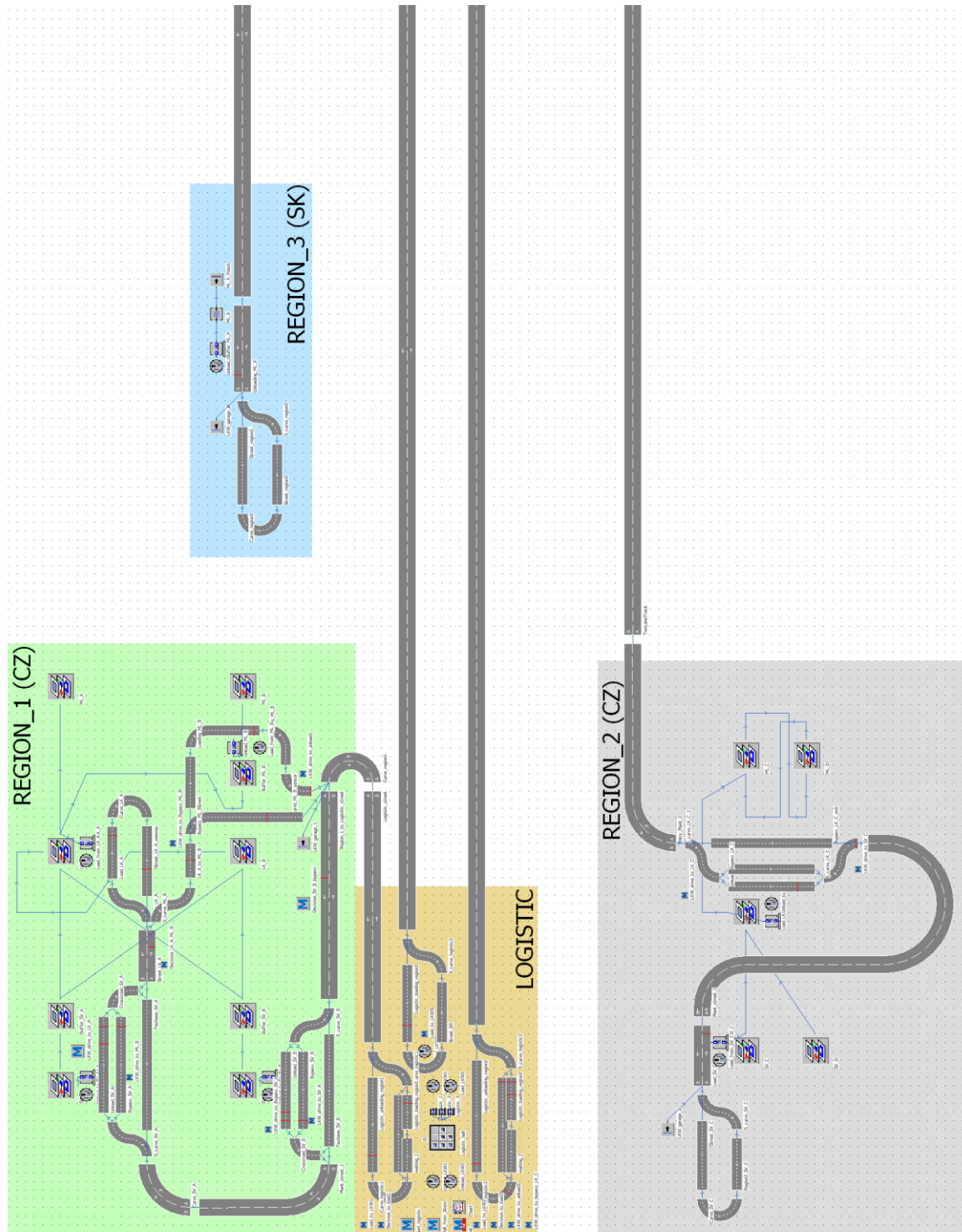
Příloha 3 Layout výrobního provozu – provázanost pracovišť



Příloha 4 Layout výrobního provozu – detail po modelech



Příloha 5 Model výrobního provozu v Plant Simulation



Příloha 6 Výrobní kalendář 2021 pro 15ti směnný provoz

		15-směnný režim (CZ)																														měsíc						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	PD	KD				
LEDEN						1					2							3				4													20,00	31		
ÚNOR			5					6							7									8											20,00	28		
BŘEZEN			9					10						11										12								13			23,00	31		
DUBEN						14							15					16						17											20,00	30		
KVĚTEN					18						19				20									21											21,00	31		
ČERVEN			22					23						24										25							26				22,00	30		
ČERVENEC							27						28					29						30											20,00	31		
SRPEN										31								32						33								34				12,00	31	
ZÁŘÍ																	37																			20,00	30	
ŘÍJEN																																				19,00	31	
LISTOPAD																																				21,00	30	
PROSINEC																																					17,00	31
																																					235,0	365

NS: 22:00-05:59
RS: 06:00-13:59
OS: 14:00-21:59

plánovaná odstavka

svátek

dovolená

bez výroby

Příloha 7 Výrobní kalendář 2021 pro 16ti směnný provoz

		16-směnný režim (CZ)																														měsíc				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	PD	KD		
LEDEN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	21,33	31		
ÚNOR		5								6							7							8										21,33	28	
BŘEZEN		9								10							11							12											24,33	31
DUBEN																																			21,00	30
KVĚTEN																																			22,00	31
ČERVEN																																			23,33	30
ČERVENEC																																			20,00	31
SRPEN																																			12,00	31
ZÁŘÍ																																			21,00	30
ŘÍJEN																																			20,33	31
LISTOPAD																																			22,33	30
PROSINEC																																			18,00	31
																																			247,0	365

bez výroby
 dovolená
 svátek
 plánovaná odstavka

NS: 22:00-05:59
 RS: 06:00-13:59
 OS: 14:00-21:59

Příloha 8 Výrobní kalendář 2021 pro 17ti směnný provoz

Výrobní kalendář 2021		17-směnný režim (CZ)																															měsíc			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	PD	KD		
LEDEN						1						2								3							4								22,67	31
ÚNOR			5						6							7								8											22,67	28
BŘEZEN			9						10						11									12									13		25,67	31
DUBEN							14						15							16							17							22,00	30	
KVĚTEN					18						19					20								21										23,00	31	
ČERVEN			22						23					24									25					26						24,67	30	
ČERVENEC							27						28							29							30							23,33	31	
SRPEN				31						32						33								34										13,33	31	
ZÁŘÍ			35						36					37						38									39					22,67	30	
ŘÍJEN							40						41						42							43								21,67	31	
LISTOPAD			44						45						46								47											23,67	30	
PROSINEC			48						49					50						51														19,00	31	
																																			264,4	365

-  bez výroby
 -  dovolená
 -  svátek
 -  plánovaná odstávka
- NS: 22:00-05:59
 RS: 06:00-13:59
 OS: 14:00-21:59

Příloha 9 Výrobní kalendář 2021 pro 18ti směnný provoz

Výrobní kalendář 2021	18-směnný režim (CZ)																															měsíc		
																																PD	KD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
LEDEN					1						2								3								4						24,00	31
ÚNOR			5					6							7								8										24,00	28
BŘEZEN			9					10							11																13		27,00	31
DUBEN							14							15					16										17				23,00	30
KVĚTEN				18							19						20																24,00	31
ČERVEN			22						23					24																	26		26,00	30
ČERVENEC																			29										30			25,00	31	
SRPEN																																	14,00	31
ZÁŘÍ											32																						24,00	30
ŘÍJEN																																	23,00	31
LISTOPAD																																	25,00	30
PROSINEC																																	20,00	31
																																279,0	365	

bez výroby
 dovolená
 svátek
 plánovaná odstávka

NS: 22:00-05:59
 RS: 06:00-13:59
 OS: 14:00-21:59

Příloha 10 Zahraniční výrobní kalendář 2021 pro 15ti směnný provoz

		15-směnný režim (SK)																															měsíc			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	PD	KD		
LEDEN						1					2								3								4								19,00	31
ÚNOR				5				6							7										8										20,00	28
BŘEZEN				9				10							11											12							13		23,00	31
DUBEN							14								15																17			20,00	30	
KVĚTEN					18						19																							21,00	31	
ČERVEN																																		22,00	30	
ČERVENEC																																		21,00	31	
SRPEN																																		12,00	31	
ZÁŘÍ																																		20,00	30	
ŘÍJEN																																		21,00	31	
LISTOPAD																																		20,00	30	
PROSINEC																																		13,00	31	
																																		232,0	365	

NS: 22:00-05:59
RS: 06:00-13:59
OS: 14:00-21:59

plánovaná odstavka



svátek



dovolená



bez výroby



Příloha 11 Přehled přestávek v jednotlivých provozech

provoz	směna	1. bezpečnostní	stravovací	2. bezpečnostní
SV_A	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
SV_B	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
SV_C	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
SV_D	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
LK_A	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
LK_B	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
LK_C	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
ML_A	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
ML_B	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
ML_C	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
ML_D	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05
ML_X	noční (22:00-05:59)	00:00-00:05	02:15-02:45	04:00-04:05
	ranní (06:00-13:59)	08:00-08:05	10:15-10:45	12:00-12:05
	odpolední (14:00-21:59)	16:00-16:05	18:15-18:45	20:00-20:05

Příloha 12 Zdrojový kód v jazyce SimTalk pro TransferStation

Method Tasks:

Init of the TransferStation. Configuration check.

Parameters : none
ReturnValues: none
Called By :
Calls : some check routines
Author : Tecnomatix
Date : 10.05.2020

```
var station : object
var comp : boolean
var type : integer

station := self.~
while station.cont /= void
    station.cont.delete
end
station.CurrIcon := "operational"
station.ConfigurationError := false
station.Status := "waiting"
station.MovedBlocks := 0
station.ContinueTarget := false
station.BlocksizePart := void
station.Parttype := ""
station.Containertype := ""
station.WaitingParts.delete
station.WaitingTargets.delete
station.ReadyTargets.delete

if station.PartStation = void or not
existsobject(to_str(station.PartStation))
    station.errorMessage(7,2)
    return
end

if station.TargetStation = void or not
existsobject(to_str(station.TargetStation))
    station.errorMessage(8,2)
    return
end

type := station.getInternalClassType(station.PartStation)
if station.checkStationClass(station.PartStation,1)
    if type > 0
        if not
station.checkSensorID(1,makePathRelative(station,station.Part
Station))
```

```

        station.errorMessage(12,2)
        return
    end
else
    if not station.checkExitCtrl(1)
        station.errorMessage(18,2)
        return
    end
end
if not station.checkUserExitCtrl(1)
    station.errorMessage(23,2)
    return
end
if station.Blocksize > 1 and not
station.unloadPartcontainer and
    station.PartStation.internalClassName /= "Machine"
    station.Blocksize := 1
end
else
    station.errorMessage(17,2)
    return
end

if station.PartStation.internalClassName = "NwIOBuffer" and
    station.PartStation.BufferType = "Stack" and
    station.unloadPartcontainer
    station.errorMessage(15,2)
    return
end

type := station.getInternalClassType(station.TargetStation)
if station.checkStationClass(station.TargetStation,2)
    if type > 0
        if not
station.checkSensorID(2,makePathRelative(station,station.Targ
etStation))
            station.errorMessage(13,2)
            return
        end
        if not station.TargetIsContainer
            if not
station.checkSensorIDForUnload(makePathRelative(station, stati
on.TargetStation))
                station.errorMessage(13,2)
                return
            end
        end
    end
else
    comp := station.checkExitCtrl(2)
    if (station.TargetIsContainer and not comp) or
        (not station.TargetIsContainer and comp)

```



```

        station.errorMessage(19,2)
        return
    end
end
if not station.checkUserExitCtrl(2)
    station.errorMessage(23,2)
    return
end
if station.Blocksize > 1 and not
station.TargetIsContainer and
    station.TargetStation.capacity /= -1 and
    station.TargetStation.capacity < station.Blocksize
    station.Blocksize := station.TargetStation.capacity
end
else
    station.errorMessage(17,2)
    return
end

if station.TargetStation.internalClassName = "NwIOBuffer" and
    station.TargetStation.BufferType = "Stack" and
    station.TargetIsContainer
    station.errorMessage(16,2)
    return
end

if not station.checkUserExitCtrl(3)
    station.errorMessage(23,2)
    return
end

if station.PartStation = station.TargetStation
    if type = 0
        station.errorMessage(25,2)
    else
        if (station.PartSensorID = station.TargetSensorID) or
            (station.getSensorPosition(1) =
            station.getSensorPosition(2))
            station.errorMessage(25,2)
        end
    end
end

if station.PartStation /= void and not
station.unloadPartcontainer and
    station.PartStation.capacity /= -1 and
    station.PartStation.capacity < station.Blocksize
    station.errorMessage(1,2)
end

```

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Patrick Schöbel		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Aplikace modelů hromadné obsluhy v podmínkách velkého výrobního podniku s využitím počítačové simulace		
VEDOUCÍ PRÁCE	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2020
POČET STRAN	98		
POČET OBRÁZKŮ	44		
POČET TABULEK	23		
POČET PŘÍLOH	12		
STRUČNÝ POPIS	<p>Diplomová práce se zaměřuje na model hromadné obsluhy v komplexním výrobním podniku s ohledem na způsob zpracování požadavků. Cílem práce je sestavit simulační model komplexního výrobního provozu, který má jednotlivé provozy o různých denních kapacitách a jsou v různých směnných režimech.</p> <p>Pomocí simulací bylo možné ověřit funkčnost výrobního toku, zjistit využitelnost jednotlivých provozů a ověřit i možnost výroby požadovaných výrobků dle poptávky.</p> <p>Vytvořený model lze jednoduše upravovat a vytvářet tím více možných scénářů a dalších vyhodnocení efektivnosti navržených změn.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Tecnomatix Plant Simulation, výrobní provoz, simulace, SimTalk, Siemens PLM Software, logistické a výrobní procesy, výrobní kapacita, model hromadné obsluhy		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Patrick Schöbel		
FIELD	6208T088 Business Administration and Operations		
THESIS TITLE	Application of mass service models in the conditions of a large manufacturing company using computer simulation		
SUPERVISOR	doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2020
NUMBER OF PAGES	98		
NUMBER OF PICTURES	44		
NUMBER OF TABLES	23		
NUMBER OF APPENDICES	12		
SUMMARY	<p>The diploma thesis focuses on the model of mass service in a complex manufacturing company with regard to the method of processing requirements. The aim of the work is to compile a simulation model of a complex production plant, which has individual plants with different daily capacities and they are in different shift regimes.</p> <p>With the help of simulations, it was possible to verify the functionality of the production flow, determine the usability of individual operations and verify the possibility of producing the required products according to demand.</p> <p>The created model can be easily modified to create more possible scenarios and further evaluations of the effectiveness of the proposed changes.</p>		
KEY WORDS	<p>Tecnomatix Plant Simulation, production plant, simulation, SimTalk, Siemens PLM Software, logistic and production processes, production capacity, mass service model</p>		